

高速増殖炉／高速炉の研究開発 オプションについて

文部科学省
研究開発局
原子力課

本検討の目的

技術等検討小委員会において検討された原子力発電・核燃料サイクルオプションに関するとりまとめの結果を踏まえ、当該とりまとめ結果に示された各原子力発電比率と政策選択肢に対応した高速増殖炉/高速炉(以下、FBR/FR)の研究開発のあり方の概要(イメージ)を提示する。

※なお、研究開発の詳細内容については、政策選択肢等が選定された後に、別途具体的に検討することが前提

高速増殖炉サイクル研究開発の全体像

<高速増殖炉原型炉「もんじゅ」>

- 高速増殖炉サイクルの研究開発の場の中核
- 運転を通じて「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」を達成することを目的とした研究開発



原型炉「もんじゅ」

※従来のエネルギー基本計画、原子力政策大綱に沿った具体的な計画

2025年頃

実証炉

実用炉の経済性、
信頼性の実証



実用炉

2050年頃

商業ベースでの導入

実用段階(民間主体)

高速増殖炉サイクル
実用化研究開発
(FaCT)
2006年～2015年

研究開発段階(国主体)

実験炉「常陽」

<高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)>

- 次世代のプラントが具備すべき安全性、経済性等の性能目標を達成する高速増殖炉サイクルの実用化像(実証・実用炉の概念設計)と実用化に至るまでの研究開発計画を2015年頃に提示することを目的とした研究開発
- エンドユーザーである電気事業者及びメーカーの参画も得た実施体制

<基礎基盤研究>

- シビアアクシデント等の現象の解明・評価のための各種シミュレーション手法の開発整備や、ナトリウム試験技術／分析技術の開発、解析モデルの構築や検証に必要なデータの取得およびデータベース構築、高性能材料開発など高速増殖炉の研究開発の基盤となる研究開発

想定する原子力発電比率

原子力比率Ⅰ：現在の原子力発電比率を維持

(2030年における原子力発電比率約35%→設備容量約50GWに相当)

原子力比率Ⅱ、Ⅲ：2030年まで原子力による発電比率を漸減

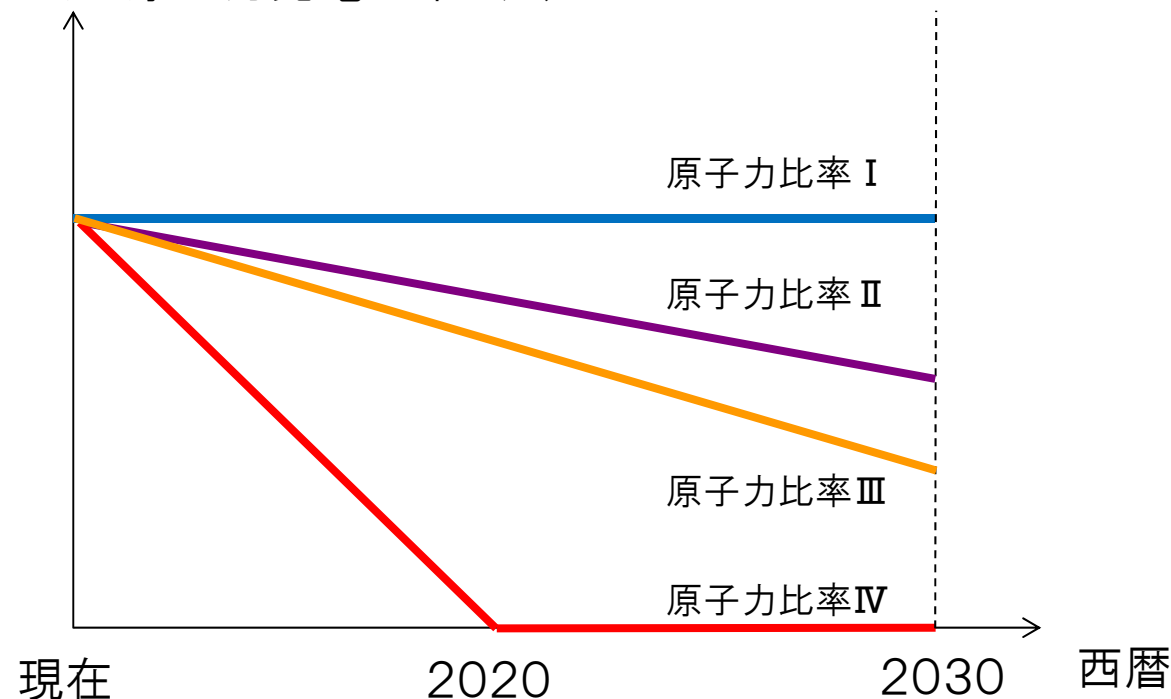
(2030年における原子力発電比率Ⅱ・・・約20%→設備容量約30GWに相当、
Ⅲ・・・約15%→設備容量約20GWに相当)

・Ⅱa、Ⅲa：その後、維持

・Ⅱb、Ⅲb：その後、漸減継続

原子力比率Ⅳ：短期に原子力発電比率をゼロ

(2030年における原子力発電比率0%)



政策選択肢の定義　－技術小委・政策選択肢の総合評価より－

技術等検討小委委員会(第15回) 資料3－2より抜粋

全量再処理政策

使用済燃料はすべて再処理し、回収したウラン・プルトニウムを再利用する。
FBR/FRが将来実用化されることを前提。

再処理・直接処分併存政策

使用済燃料の再処理と直接処分のいずれも可能とする。
FBR/FRは将来の不確実性に対する選択肢として位置付ける。

全量直接処分政策

使用済燃料は一定期間貯蔵後、全て直接処分する。
FBR/FRの選択肢は存在しない。

原子力比率・政策選択肢の組み合わせとFBR/FR導入の可能性

各原子力比率Ⅰ～Ⅳと政策選択肢の組み合わせに対するFBR/FRの将来的な導入の可能性は下記の通り

●Ⅰ、Ⅱa、Ⅲaかつ全量再処理

- ・国際的なウラン・プルトニウム(以下、Pu)需給の関係からFBRの導入が前提となる。
- ・Pu需給変動に応じて増殖比を調整。

●Ⅰ、Ⅱa、Ⅲaかつ併存

- ・FBRの導入可能性あり
- ・Pu需給変動に応じて増殖比を調整。

●Ⅱb、Ⅲbかつ全量再処理、併存

- ・原子力発電比率の2030年以降の漸減速度によっては、Pu・マイナーアクチニド(以下、MA) 燃焼や長寿命核分裂生成物(以下、L LFP) 短寿命化のために環境負荷低減に重点を置いたFRを導入する可能性有り。
- ・なお、経済性を重視しなければ既存技術による早期導入が可能。例えばⅡbで2040年から5GWのFRの導入を想定した場合、2070年頃に原子力発電比率がゼロになる場合でも廃棄物処分場面積を5割程度縮減させる効果が見込まれる。

●全量直接処分

- ・FBR/FR導入は無い。

		全量再処理	併存	全量直接処分
Ⅰ		FBR	FBR	導入無し
Ⅱ,Ⅲ	a	FBR	FBR	導入無し
	b	FR	FR	導入無し
Ⅳ				導入無し

注)最終的に導入される可能性の高い炉型のみ標記

当面の政策の進め方におけるFBR/FR研究開発の位置づけ

ー技術小委・政策選択肢の総合評価よりー

技術等検討小委委員会(第15回) 資料3ー2より抜粋

当面の政策1(全量再処理に対応)

六ヶ所再処理工場及びJ-MOX工場の稼働に続き、次の再処理施設に向けた取組を開始する。国産のFBR/FRの実用化まではプルサーマルで、**実用化後はFBR/FRで回収したプルトニウムを使用する。**

当面の政策2(再処理/処分併存に対応)

六ヶ所再処理工場、J-MOX工場は稼働するが、六ヶ所再処理工場の能力を超える使用済燃料は当面貯蔵する。貯蔵された使用済燃料について再処理に取組むとともに、直接処分の実施に向けた取組を始める。**国産のFBR/FRの実用化を判断するために必要な研究開発を実施する。**

当面の政策3(全量直接処分に対応)

六ヶ所再処理工場、J-MOX工場は廃止とし、使用済燃料はすべて直接処分されるまで貯蔵する。直接処分の実施に向けた取組を始める。**国際協力等でのFR研究開発は実施するが、FBR/FRの実用化に向けた研究開発は中止する。**

[補足]留保の場合 技術等検討小委委員会(第15回) 資料2より抜粋

全量再処理、再処理・直接処分併存及び全量直接処分のいずれの選択肢が選択されたとしても、決定後直ちにその取組に着手できる準備的取組を確実にすすめること。

当面の政策の進め方を踏まえた当面の研究開発のあり方

		全量再処理	併存	全量直接処分
I		① FBR	② FBR	③ 導入無し
II, III	a	FBR	FBR	導入無し
	b	FR	FR	導入無し
IV				④ 導入無し

注)最終的に導入される可能性の高い炉型のみ標記

- ①FBRの実用化を前提に研究開発を推進
- ②FBR/FRを将来の選択肢として位置づけ、実用化を判断するために必要な研究開発を実施
- ③国際協力等でのFR研究開発は実施するが、FBR/FRの実用化に向けた研究開発は中止
- ④FBR/FRの実用化に向けた研究開発を中止。基礎基盤研究のみ継続

当面の研究開発のあり方（基本方針）

①実用化を前提に研究開発を推進〔Ⅰ、Ⅱa、Ⅲaかつ全量再処理〕

- 合理化や改善を図りながら、基本的には従来計画をベースに研究開発を実施
- もんじゅは、**運転再開後10年程度以内の運転によって所期の目的の達成を目指す**
- FaCTは、実証炉等の概念設計を行い実用化までの開発計画を提示する。並行して東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえた**安全強化策も検討**し、設計に組込む

②実用化を判断するために必要な研究開発を実施 〔Ⅱb、Ⅲbかつ全量再処理、Ⅰ～Ⅲbかつ併存〕

- もんじゅは、**100%出力運転を達成し、発電プラントとしての技術成立性を確認**
- FaCTは、東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえた**安全強化策の検討及び設計根拠データの取得**を行い、それを勘案しても、FBR/FRの経済性・信頼性等の目標が達成可能かどうかを確認
- これら2点の研究成果を踏まえ、**実用化が可能かどうかを判断**

③国際協力等でのFR研究開発を実施〔Ⅰ～Ⅲbかつ全量直接処分〕

- 実用化に向けた研究開発は中止するが、**国際協力等の中でFR研究開発を実施**。もんじゅについては、国際協力の中で国際研究拠点としての活用の可能性を検討

④実用化に向けた研究開発を中止〔Ⅳかつ全量直接処分〕

- もんじゅ及びFaCTについては研究開発を中止。常陽等を用いた**基礎基盤研究のみ実施**。もんじゅについては、科学技術の観点から成果の取りまとめ方法について検討

当面の研究開発のあり方（①:実用化を前提に研究開発を推進）

合理化や改善を図りながら、基本的には従来計画をベースに研究開発を実施。もんじゅは、**運転再開後10年程度以内の運転によって所期の目的の達成を目指す**。FaCTは、実証炉等の概念設計を行い実用化までの開発計画を提示する。並行して東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえた**安全強化策も検討**し、設計に組込む。

高速増殖原型炉「もんじゅ」

目標

運転再開後、10年程度以内を目途に所期の目的を達成。

実施内容

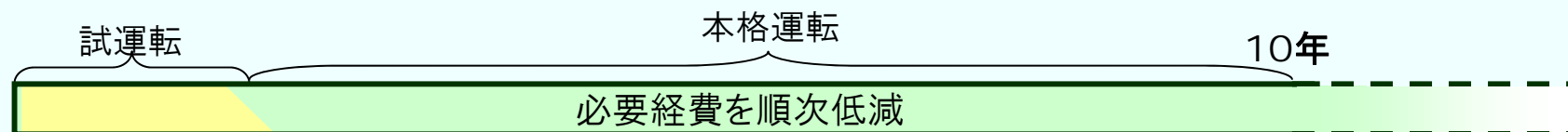
10年程度以内の運転を目途に、「発電プラントとしての信頼性の実証」と「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」という所期の目的の達成と「MAの燃焼実証」等の実施を目指す。

また、運転経験を通じた機器の点検計画等の合理化の実施や売電収入により、必要経費の順次低減を目指す。

その後の取扱については、それまでの稼働実績やFaCTの成果や、国際情勢等を評価しつつその具体的な活動内容を検討する。

留意点

再稼働にあたっては、東電事故を踏まえた安全性向上への取組及びこれも踏まえた規制当局による安全性の確認が前提



当面の研究開発のあり方（①:実用化を前提に研究開発を推進）

合理化や改善を図りながら、基本的には従来計画をベースに研究開発を実施。もんじゅは、**運転再開後10年程度以内の運転によって所期の目的の達成を目指す**。FaCTは、実証炉等の概念設計を行い実用化までの開発計画を提示する。並行して東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえた**安全強化策も検討**し、設計に組み込む。

FaCT

目標

実証炉等の実用化像（概念設計）及び実用化までの研究開発計画を提示する

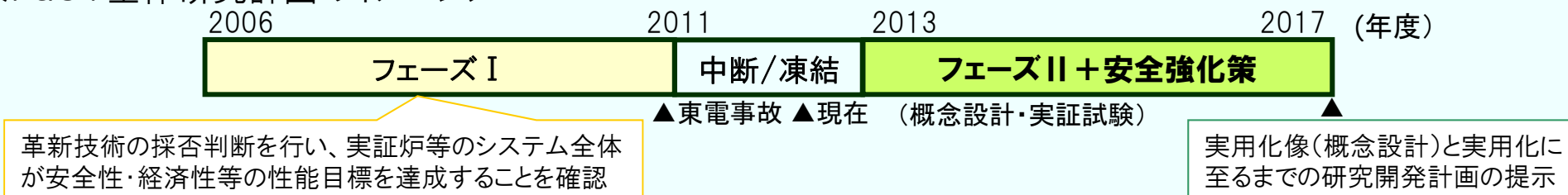
実施内容

現在、フェーズⅠ 成果の評価途中で凍結状態にあるFaCTの中間評価をとりまとめ、フェーズⅡに移行。以下の研究開発を行う。

- ① 実証炉等のプラントの主要仕様を決定する概念設計を行い、**経済性等を定量評価**
- ② 燃料集合体の流動試験等の**要素試験による設計・評価手法確立**
- ③ **機器・システムの設計成立性と性能及び信頼性の実証**
（材質・寸法を想定する実証炉とほぼ同様にした機器を使用した試験、蒸気発生器や循環ポンプ等が対象）
- ④ **実用化までの開発計画の作成**

また、並行して、東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、地震や津波等の外部事象の想定規模の拡大やシビアアクシデントに対応した安全強化策を検討し、設計に組み込む

<FaCT全体研究計画のイメージ>



当面の研究開発のあり方（②：実用化を判断するために必要な研究開発）

もんじゅは、100%出力運転を達成し、発電プラントとしての技術成立性を確認。FaCTは、東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえた安全強化策の検討及び設計根拠データの取得を行い、それを勘案しても、FBR/FRの経済性・信頼性等の目標が達成可能かどうか確認。これら2点の研究成果を踏まえ、実用化が可能かどうかを判断

高速増殖原型炉「もんじゅ」

目標

性能試験と定格運転を行い、FBR/FRの発電プラントとしての技術成立性を確認する。

実施内容

①40%～100%出力試験＋定格運転（1回）（計3年程度）→[実用化を判断するために必須]

原子炉、ナトリウム冷却系、タービン発電機などシステムが一体となった試験を行い、発電システムとしての成立性と性能を確認する。また、高速増殖炉の特徴である自然循環による炉心冷却の確認と実証を行う

②定格運転（～2年程度）

FBR/FRの発電プラントとしての技術成立性の確認をより確実に行う観点から、上記①に加えて、3サイクル（1サイクル、4ヶ月運転）の運転と保全計画に基づく定期点検を実施し、運転経験を蓄積するとともに、FBR/FRの炉心・燃料データを取得する。

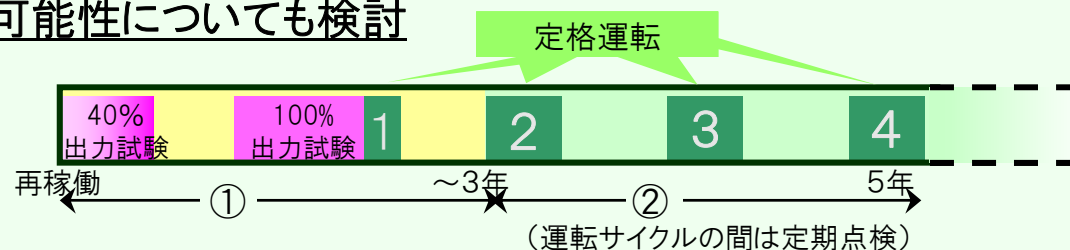
③もんじゅを活用した国際協力・共同開発の可能性についても検討

必要な期間

再稼働後、約3～5年間

留意点

再稼働にあたっては、東電事故を踏まえた安全性向上への取組及びこれも踏まえた規制当局による安全性の確認が前提



当面の研究開発のあり方（②：実用化を判断するために必要な研究開発）

もんじゅは、100%出力運転を達成し、発電プラントとしての技術成立性を確認。FaCTは、東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえた安全強化策の検討及び設計根拠データの取得を行い、それを勘案しても、FBR/FRの経済性・信頼性等の目標が達成可能かどうか確認。これら2点の研究成果を踏まえ、**実用化が可能かどうかを判断**

FaCT

目標

東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえた安全強化策の検討及び設計根拠データの取得を行い、それを勘案しても、FBR/FRの経済性・信頼性等の目標が達成できることを確認する

実施内容

①FaCTフェーズⅡへは進まず、東京電力福島第一原子力発電所の事故の教訓に基づき、具体的な安全強化策の検討・開発を実施

（例）崩壊熱除去系の機能喪失に対処可能な新型冷却系の検討・開発など

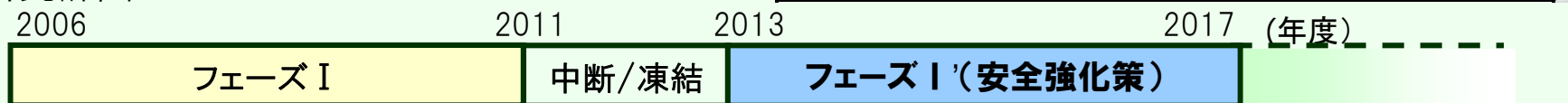
②前項の検討により導入される安全性強化策を反映させたプラントのイメージの構築や設計根拠データの取得を行い、プラント全体の安全性・経済性・信頼性等の性能を評価

③国際協力・共同開発の可能性についても検討

必要な期間

約5年間

<FaCT全体研究計画のイメージ>



	2013	2014	2015	2016	2017
国際標準SDC構築	国際標準SDC構築			安全設計ガイド構築	判断
安全対策の選定と具体化	対策選定	安全性向上策具体化			
プラント概念構築		プラント概念検討			性能評価
設計根拠データの取得	各種要素試験計画策定・試験体設計・製作・試験実施				
国際協力・共同開発可能性検討	情報収集、国際協力・共同開発可能性検討・交渉				計画策定

革新技術の採否判断を行い、実証炉等のシステム全体が安全性・経済性等の性能目標を達成することを確認

（安全強化策開発・性能目標達成確認）

安全強化策を適用しても安全性・経済性等の目標を達成し得ることを確認

当面の研究開発のあり方（③：国際協力等の中でFR研究開発を実施）

実用化に向けた研究開発は中止するが、**国際協力等の中でFR研究開発を実施**。もんじゅについては、国際協力の中で国際研究拠点としての活用の可能性を検討

FR研究開発

目標

実用化計画を有する外国等との協力で放射性廃棄物の低減に寄与するFRの研究開発を進め、FR技術に係る知見を国内に蓄積

実施内容

- 協力国との合意に基づき、分担部分の設計検討、性能評価を行う。また、これらに必要な要素開発（例えば、MA燃焼やLLFPの短寿命化を最適化するための炉心・燃料の開発）を実施
- 根拠データを取得するとともに、設計評価手法を構築する
- FaCTは中止する

必要な期間

協力国の計画、役割分担に依存

留意点

- 実用化に向けた研究開発を中止するため、これまで参画企業に蓄積された技術、人材が散逸することとなる
- なお、もんじゅについては、国際協力の中で国際研究拠点としての活用の可能性について協力国と検討

当面の研究開発のあり方（④：実用化を中止、基礎基盤研究のみ実施）

もんじゅ及びFaCTについては研究開発を中止。常陽等を用いた**基礎基盤研究のみ実施**。もんじゅについては、科学技術の観点から成果の取りまとめ方法について検討

基礎基盤研究

目標

科学技術立国としての原子力研究開発の基盤技術を維持するとともに、各国との共同研究により高速炉の安全等に関わる基礎基盤的な研究開発の効率的な実施を目指す

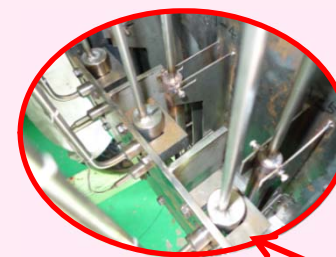
※なお基礎基盤研究は、前述①～③のいずれのケースにおいても実施

実施内容

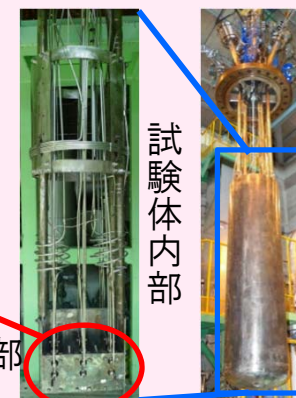
- 第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）等の国際的な研究開発活動への参加
- 現象解明・評価のための各種シミュレーション手法の開発整備（炉心溶融シミュレーション手法など）
- ナトリウム試験技術／分析技術の開発（ナトリウム－水反応試験技術など）
- 常陽等を用いた照射試験／分析技術の開発（材料照射技術、照射物質分析技術など）
- 各種データベースの整備（材料強度データベース、熱流動データベースなど）

留意点

- 実用化に向けた研究開発を中止するため、これまで参画企業に蓄積された技術、人材が散逸することとなる
- なお、もんじゅについては、科学技術の観点から成果の取りまとめ方法について別途検討。



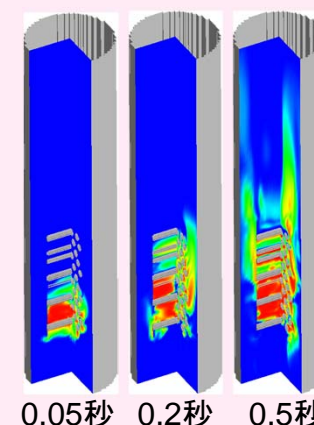
ナトリウム－水反応発生部



試験技術例：我が国の試験装置を用いたナトリウム－水反応現象解明に関する仏国との共同研究



常陽と照射後試験施設



蒸気発生器伝熱管破損模擬試験の数値シミュレーション例

留保の場合

(六ヶ所再処理プロジェクト、プルサーマル以外の核燃料サイクルの活動については、)全量再処理、再処理・直接併存及び全量直接処分のいずれの選択肢が選択されたとしても、決定後直ちにその取組に着手できる準備的取組を確実に進めること。

実施内容

- FaCTは凍結。関連施設の維持管理のみ実施。
- もんじゅについては、維持管理のみにかかる経費が運転時にかかる経費全体に比べても大きな割合となること等を踏まえ、安全が確保されることを前提に、未了部分の試運転等を先行的に実施するかどうかについて検討
- 基礎基盤研究は、実施。

留意点

- 将来の導入可能性が不透明になることに伴い、参画企業に蓄積された技術、人材が散逸するリスク

参考資料

FBRとFRの比較

FBRとFRでは、定義や開発目標は異なるものの、当面行うべき研究開発内容は同一

	FBR	FR
定義	<ul style="list-style-type: none"> ・Pu増殖によるエネルギーセキュリティ確保に主眼 ・ブランケット燃料の装荷量を調整して、Pu需要の変動に柔軟に対応 ・MA燃焼等も併せて実施することができる 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃棄物低減に主眼 ・Pu増殖はしないため、ブランケット燃料は装荷しない ・Pu/MA燃焼やLLFP短寿命化等のための専用の集合体を炉心内に設置
開発目標	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性・経済性・信頼性に優れた炉を開発 ・増殖比は最大1.2程度、柔軟に調整できる炉心を構成 ・MA燃焼やLLFP短寿命化も可能な炉心・燃料を開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性・信頼性に優れた炉を開発 ・Pu/MA燃焼及びLLFP短寿命化を最適化するための炉心・燃料を開発
当面の研究開発のポイント	技術的成立性を確認するとともに、一定レベルの安全性・経済性・信頼性の目標を達成し得ることを確認	
	FaCT	共通となるプラント構成に対して、安全向上策の検討と選定、それらを組込んだプラントの概念検討を実施
	もんじゅ	性能試験や定格運転によりFBRの技術成立性を確認。また、運転や保守技術の経験を蓄積し、炉の安全性等の向上に寄与
その後の研究開発のポイント	より高い経済性を達成することに主眼	より効率的に長寿命核種(MAやLLFP)を燃焼させることに主眼
	FaCT	概念設計や実証試験を実施し、設計成立性や経済性を定量的に評価、軽水炉に比肩する経済性を実現できることを確認。
	もんじゅ	FBRの炉型に応じた燃料集合体照射データを取得
		FRの炉型に応じた燃料集合体照射データを取得

FBRとFRの概要

- 両者のプラント技術は基本的に同じ。但し、炉心・燃料についてはFRの場合、目的(燃焼形態)に応じた様々な炉心・燃料集合体構成があり得る。

FBR

- **ブランケット燃料を装荷**(装荷量を調整して増殖比のニーズに柔軟に対応可能:約0.8~1.2の範囲。なお、1.0未満の場合は増殖比は転換比と呼ばれ、FBRもFRと称される)。
- マイナーアクチニド(MA)を含有させて(最大5%程度)発電することも可能。

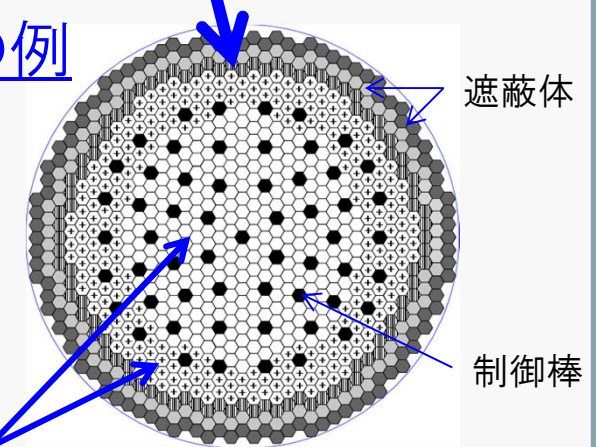
FR

- **ブランケット燃料は装荷しない**(増殖不要のため)。
- **目的に応じた様々な燃料集合体を最適配置で炉心に装荷。**
 - ✓Puの燃焼
 - 燃料ピンの細径化や短尺化で燃料体積割合を低減
+燃料中のPu富化度増大で燃焼を効率化
 - ✓MA(含有率10~20%程度)の燃焼、LLFPの短寿命化
 - 専用の集合体を設置

径方向ブランケット燃料集合体

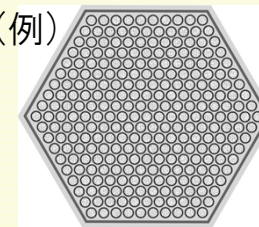
増殖の要否や増殖比のニーズに応じ、全数または一部を**遮蔽体**に置換

炉心の例



炉心燃料集合体

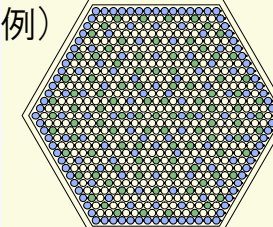
(例)



(MAを含む同一燃料ピンを配置)

LLFP集合体

(例)



(LLFPピン、減速材ピンを配置)

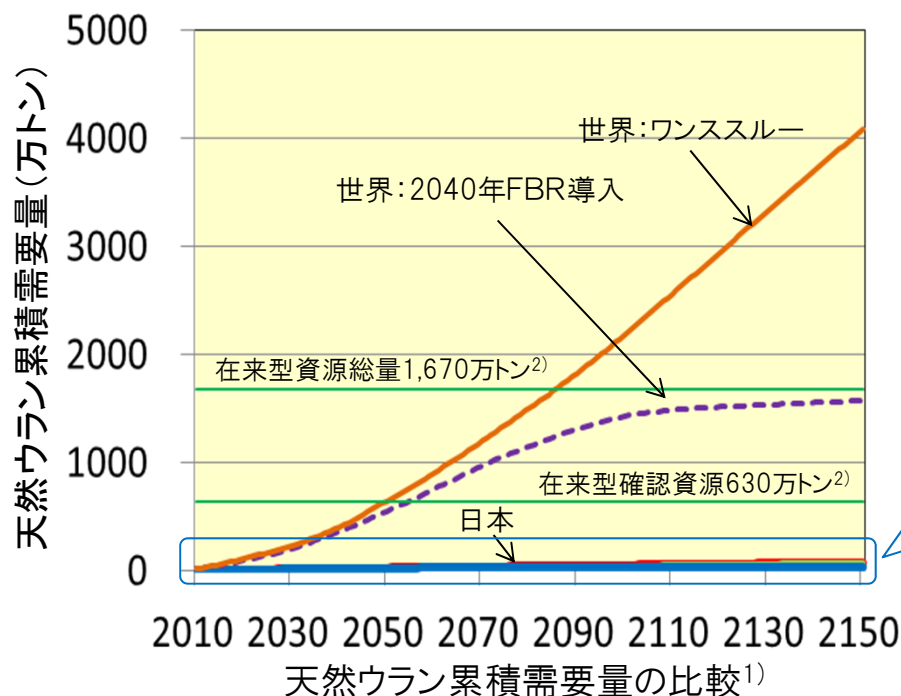
炉心燃料集合体が存在する領域の中または外に設置

FBR導入可能性の定量的評価

日本の原子力利用状況に関わらず、国際的なウラン資源獲得競争は厳しくなる可能性が高い。原子力比率Ⅰ～Ⅲにおいて、2030年以降も長期にわたって原子力比率を維持する場合、いずれFBRを導入することが必要となる。

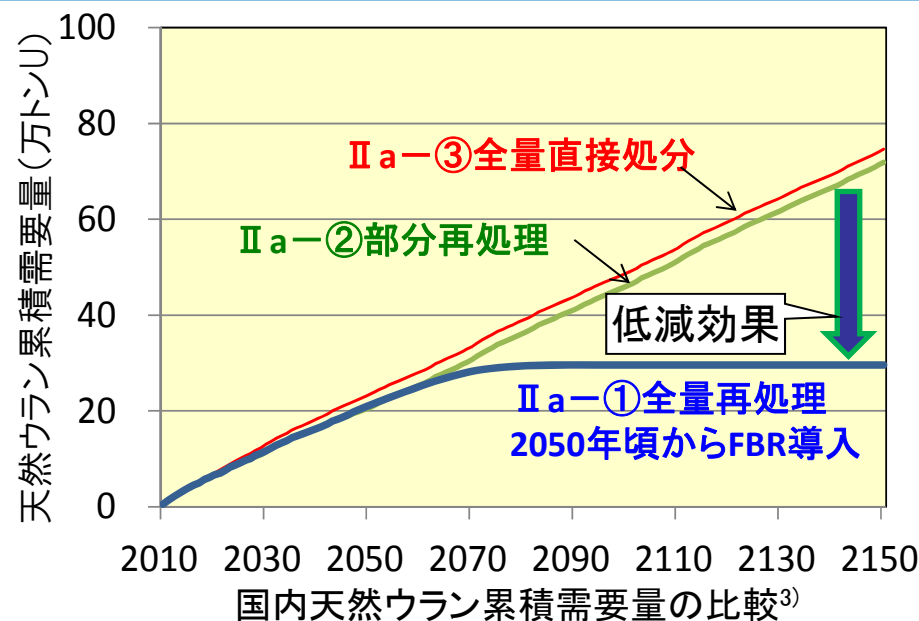
ウラン資源制約

世界の原子力発電利用は伸びることが予想されており、FBRの導入が無いと日本の原子力利用状況に関わらず、世界的に21世紀後半にはウラン資源の需給がひっ迫し、獲得競争が厳しくなる可能性が高い。



FBR導入による資源制約からの解放

国内においては、全量再処理と2050年頃からのFBR導入によって、2070年頃から、天然ウランの供給に依存せず、長期的に一定規模の原子力発電比率を維持することが可能となる。



1) 日本原子力研究開発機構試算(第9回新大綱策定会議 資料第2-4 号より一部抜粋、修正) 世界の発電設備容量はJAEA中位ケース(2100年時点で約2,500GWe)を想定、2) Uranium 2009, OECD/NEA-IAEA
3) ケースⅡaに対する各代表シナリオの天然ウラン需要の比較(第14回技術等検討小委員会 参考資料より)

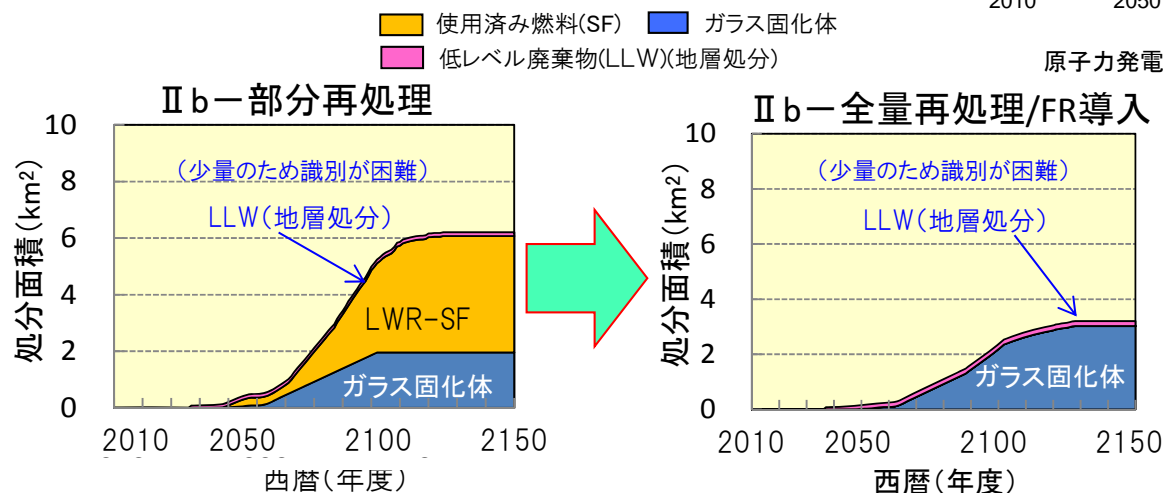
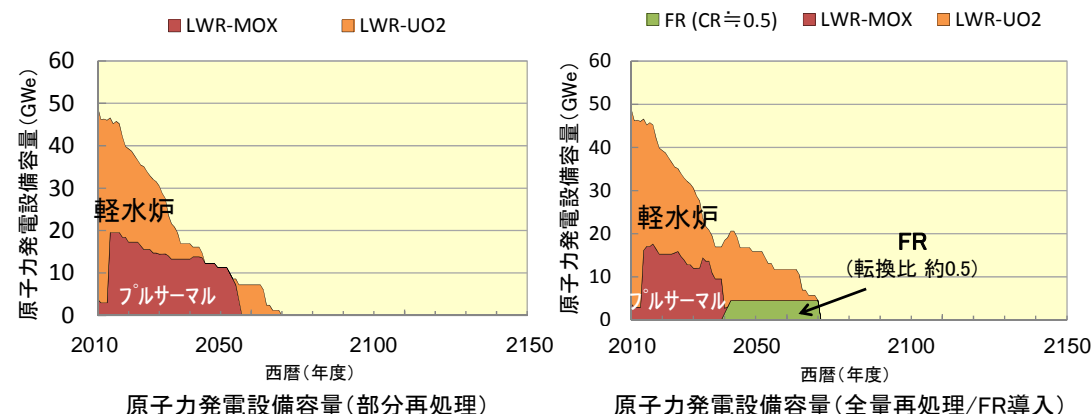
FR導入可能性の定量的評価

原子力比率ケースⅡb、Ⅲbにおいても、高レベル放射性廃棄物処理技術としてのFRが実用化されれば、導入する価値が存在し得る。

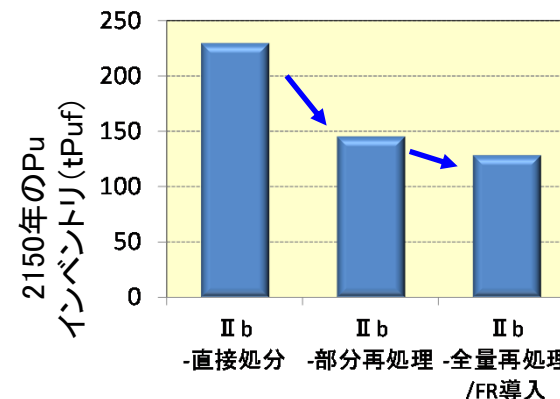
環境負荷低減の観点からのFRの効果

評価条件

- Ⅱbとして、原子力発電比率を2030年以降も引き続き漸減させ、2070年で終了
- 5GW程度のFRを2040年に導入、使用済燃料は全量再処理し、ガラス固化体として処分



＜FR導入による地層処分面積の低減効果＞



＜FR導入によるPu燃焼効果＞

- 地層処分面積を5割程度縮減、Puをさらに低減することが可能。また長半減期核種減少で管理期間短縮化にも寄与

もんじゅ技術成果の達成度

●もんじゅの運転期間と技術成果達成度の関係を数値化

STEP1: 全試験等項目の重要度分類

- 実証炉開発への影響の度合いから、各試験等項目を4ランクの重要度に分類。ランクに応じた持ち点を付与

STEP2: 全試験等項目のカテゴリー分類

- もんじゅの所期目的の観点から、各試験等項目を、1)機器・システム試験関連、2)炉心試験・照射関連、3)運転・保守関連の3つの等価値なカテゴリーに分類

STEP3: 各カテゴリー内での達成度計算

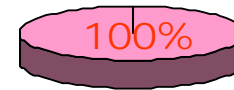
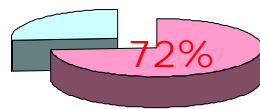
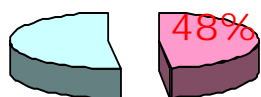
- 各試験等項目の持ち点をその成果が得られる期間(性能試験期間、本格運転5年目など)に配点
- 期間ごとに配点を集計、カテゴリー内全ての配点の総和で割ることで、各期間内の成果達成度を求める
- 各期間内成果達成を累積することで、運転期間と成果達成度の関係を求める。

STEP4: 総合達成度計算

- 各期間において、3つのカテゴリーの達成度を平均することで全体の達成度を求める。

達成度試算

期間 カテゴリー	現時点	性能試験終了	本格運転3年	本格運転8年
機器・システム試験関連	16	69	83	100
炉心試験・照射関連	31	73	78	100
運転・保守関連	0	3	55	100
達成度(%)	16	48	72	100



性能試験 100%出力達成

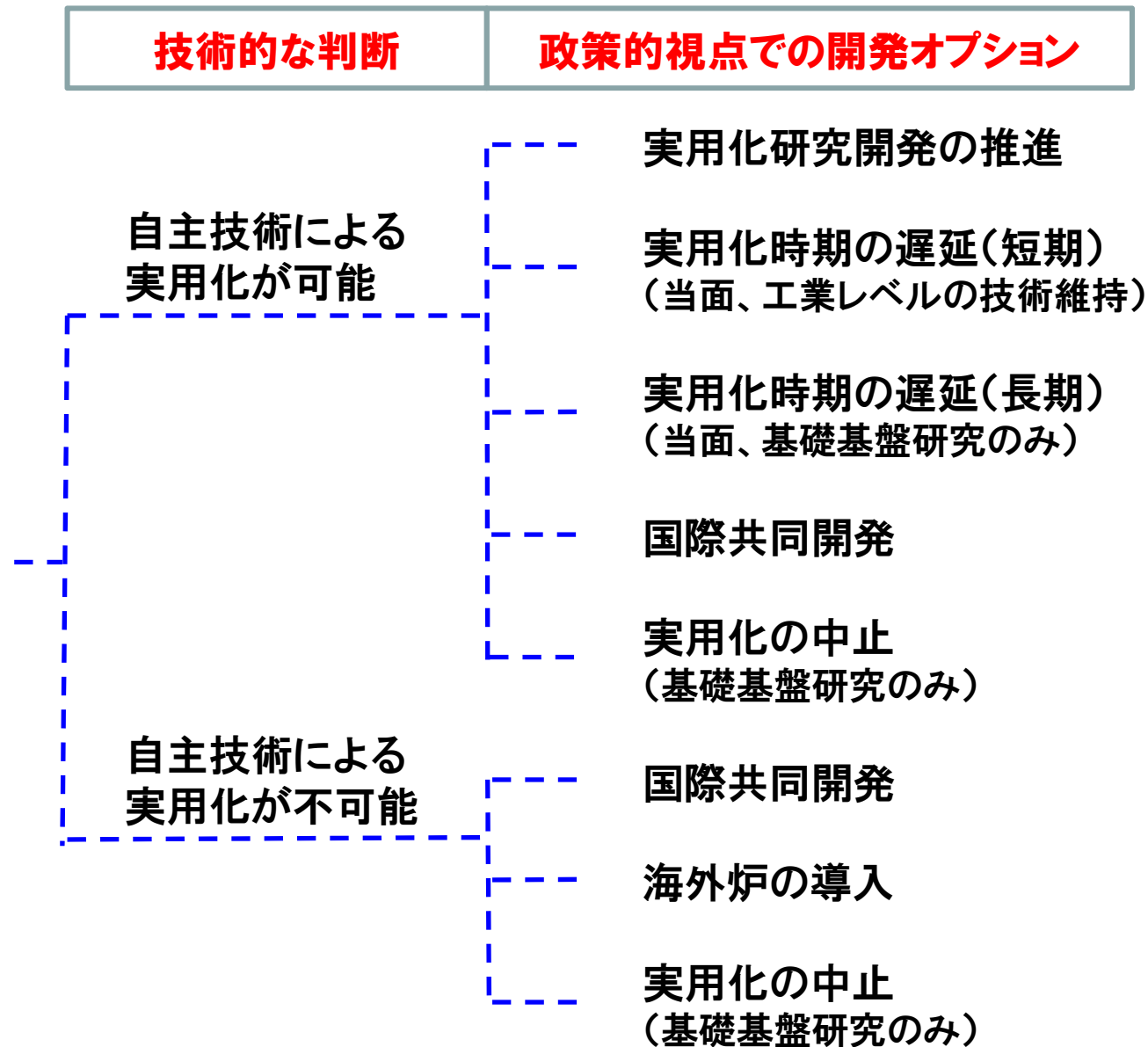
本格運転(データ取得・運転／保守経験取得)

再稼働

5年

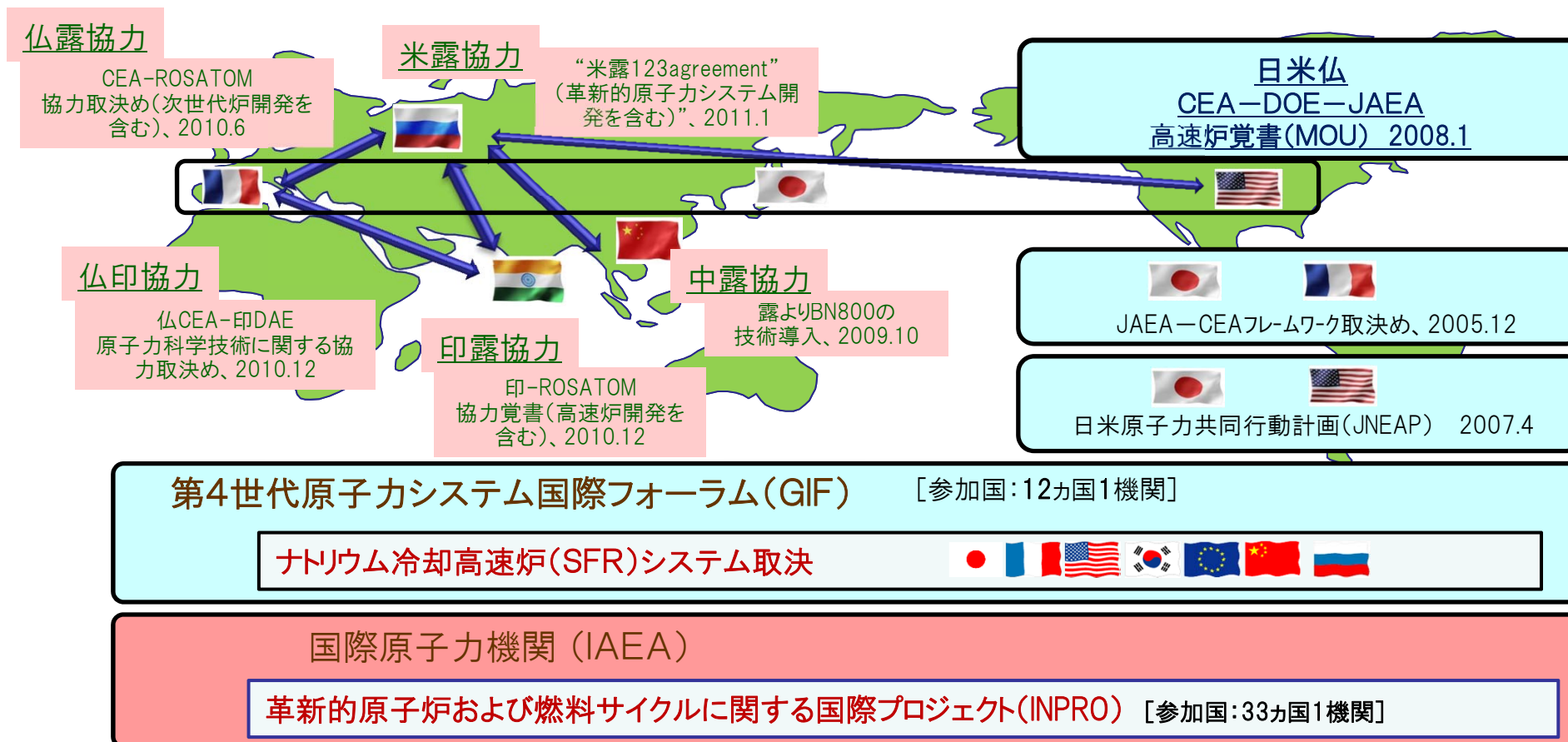
10年

②における政策判断において想定される選択肢



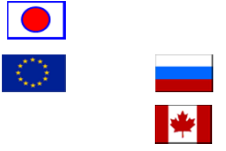
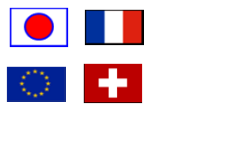
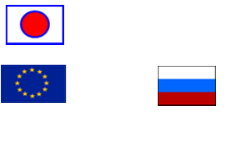
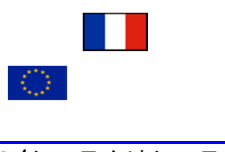


国際協力の現状

- 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。
- 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)においても議長国を務めている。
- また、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利用して、高速炉の安全設計クライテリアの国際標準化を実施。日米仏の3カ国協力では、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)を締結。



第4世代原子炉システム国際フォーラム（GIF）

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)	
溶融塩炉 (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：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

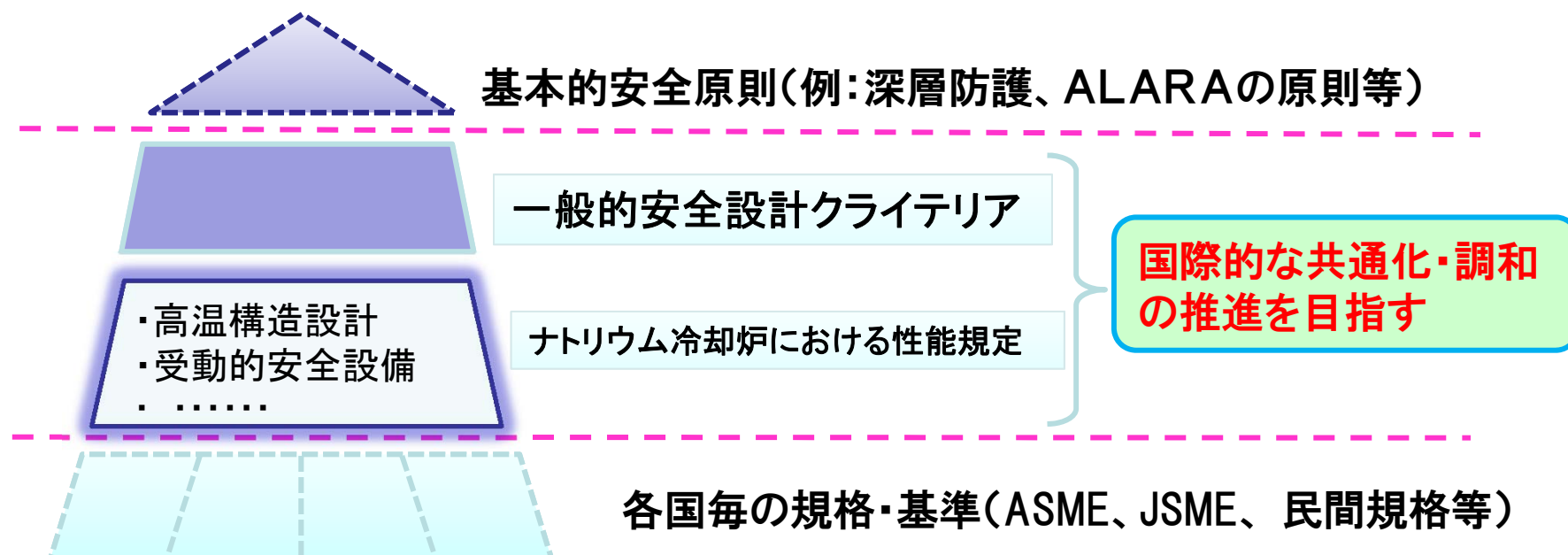
○ 並行して、各国のプロジェクトをサポートできるGen-IV炉の設計クライテリアの1つとして、GIFのタスクフォース(議長：日本)で国際標準の**安全設計クライテリア(SDC)策定を推進**。SDCは、2012年の完成を目標。

国際協力について（①：国際標準安全設計クライテリア）

● 国際標準の安全設計クライテリア(SDC)の構築

- 世界的なFBR/FR開発は今後も進展することが予想。
- 一方、第4世代炉に対する安全要求として国際共通化が図られたものは現状存在しない。明確なSDCを持たない新興国も存在。
- 次世代炉の高い安全性確保、グローバルな安全性確保の観点から、国際標準のSDCの構築が必要。構築の先導は、開発先行国である日本の国際的責務。
- 国際協力(GIF)の枠組みを活用し、日本がSDCタスクフォースの議長国として国際標準SDC構築を主導。SDC構築のための設計検討、データ取得を国内で実施中。

国際標準化を目指す安全設計クライテリアの位置づけ



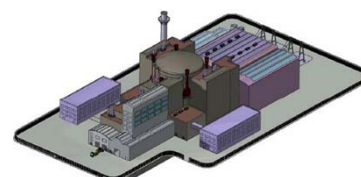
国際協力について（②：もんじゅ＆アストリッド等）

●開発推進国との研究開発協力

- 想定される協力のレベル
技術情報交換、共同研究、機器やシステムの共同開発
 - 協力内容
基盤技術：現象解明や評価モデル開発など
要素技術：各種設計技術開発、要素試験実施など
機器設備：ポンプ、蒸気発生器、漏えい検出器などの開発
系統設備：炉心・燃料、冷却系、燃料取扱系などの開発
試験施設等の共同利用
- ⇒ 今後の国際協力については、広範囲なレベル・内容を対象とした可能性を検討

例）仏国（ASTRID計画）との協力可能性

- JAEAのナトリウム-水反応試験施設やEAGLE炉内試験計画（炉心損傷事故回避・影響緩和技術開発）を活用した共同研究
- 従来の基盤技術レベルの各分野での協力に加え、要素技術や系統・機器設計に関する協力の可能性も含め、より深化した形での新たな協力形態を検討
- 仏国は、ASTRID燃料実証のため「もんじゅ」の活用を期待



ASTRIDプラントイメージ



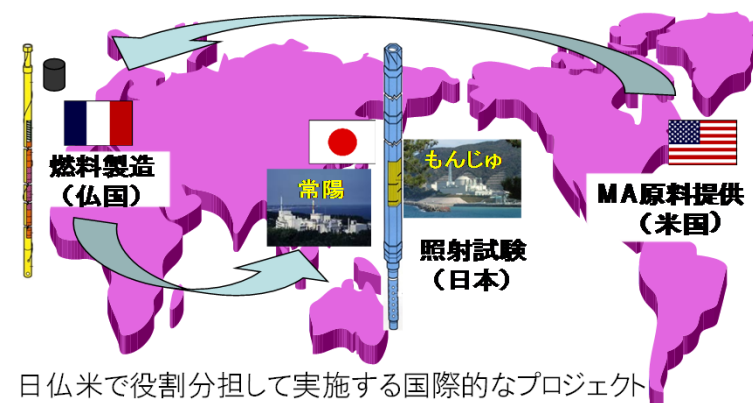
大型試験施設
の共同利用

例）研究中核施設としての「もんじゅ」の活用

日仏米共同の高速増殖炉燃料実証計画（GACID）

Global Actinide Cycle International Demonstration

高レベル放射性廃棄物の一部であるマイナーアクチノド（MA）を回収して燃料として再利用することにより、放射性廃棄物の低減と核拡散への抵抗性を高めるための研究開発プロジェクト



日仏米で役割分担して実施する国際的なプロジェクト

例）仏米との協力（3国間/2国間での協力）

基盤的研究を中心として以下の幅広い分野での協力を検討

- 基盤的R&D分野
安全性、システム構成、新材料、計装
保守・補修、原子炉運転経験の反映
熱流動、核的特性
- 機器の設計・製作分野
- 試験施設等の共同利用
- 新型燃料分野

FaCTフェーズⅠの成果（革新技術の採用可能性判断結果(炉システム)）

フェーズⅠにおいて開発を行った革新技術についてJAEAと原電が採用の可能性について評価。その結果、採用が9技術、検討継続が1技術となった。なお、FaCTフェーズⅠの成果に対する国の評価は現在中断中。

※採用の定義・・・実用炉に採用できる見通しが得られ、実証炉の概念設計に適用する技術として対象とできる技術であること

①高燃焼度炉心・燃料【検討継続】

- 高い中性子量と高温に耐える燃料被覆管材料により経済性を向上
(今後、代替被覆材開発の可否を含めて再評価し、被覆管材料を選定)

②安全性向上技術【採用】

(受動的炉停止系(SASS)、再臨界回避技術)

- 異常が生じて受動的に原子炉停止
- 炉心が熔融しても、原子炉容器の中で事故の影響を閉じ込め

③コンパクト化原子炉構造【採用】

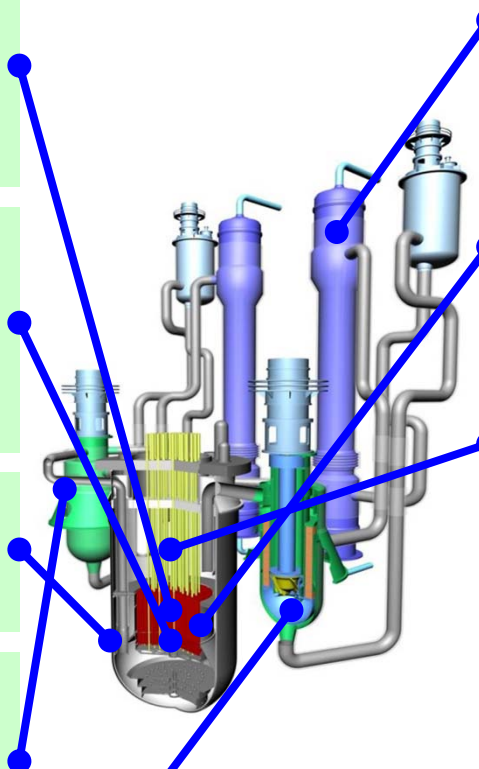
- コンパクトな原子炉容器(直径の抑制)で建設費を低減

④9Cr鋼製大口径配管を用いた2ループシステム【採用】

- 配管を短くし、ループ数を抑えてシステムを簡素化

⑤ポンプ組込型中間熱交換器【採用】

- 1次系ポンプを熱交換器の中に組み込み、物量を削減



⑥直管2重伝熱管蒸気発生器【採用】

- 単純構造で検査がしやすく、ナトリウム-水反応の影響も抑える伝熱管により信頼性を向上
(代替技術として検討した防護管付き伝熱管を採用)

⑦自然循環除熱式崩壊熱除去システム【採用】

- 動的機器に依存せず、冷却材の自然循環により原子炉停止後に残る熱(崩壊熱)を除去

⑧簡素化燃料取扱いシステム【採用】

- コンパクトな原子炉容器に適合する燃料交換機により燃料交換時間を短縮

⑨SC造格納容器【採用】

- SC造(2枚の鋼板の間にコンクリートを充填した構造)の格納容器で、鋼製部分の工場製作・現地搬入により建設工期を短縮

⑩高速炉用免震システム【採用】

- 厚肉積層ゴムやオイルダンパを用いて地震の影響を一層低減し、新潟県中越沖地震に伴う厳しい耐震要求にも対応

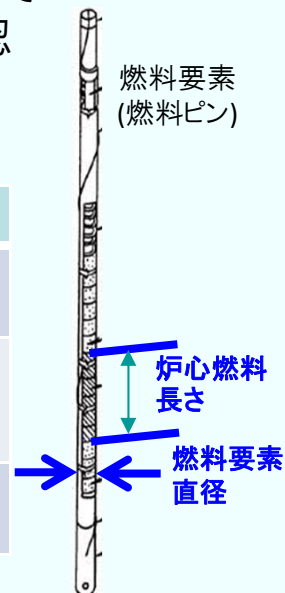
研究開発例（①:実用化を前提に研究開発を推進）

高速増殖原型炉「もんじゅ」

○燃料の高燃焼度化の実証

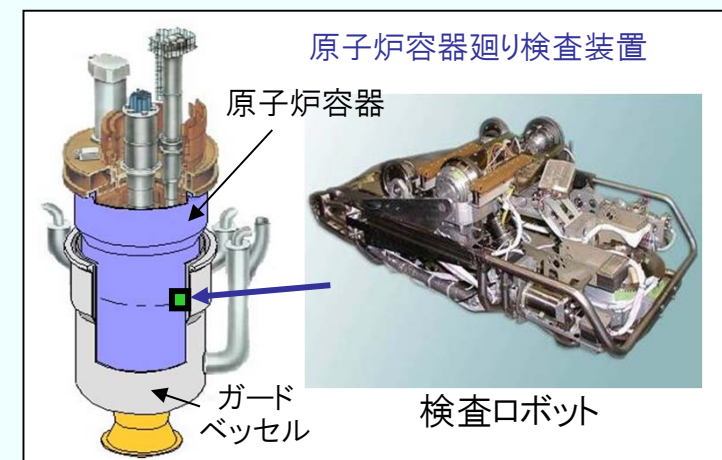
- 燃料の高燃焼度化は、実証炉/実用炉の経済性向上の大きな鍵。
- 実証炉に近い炉心燃料長さや炉心直径を有するもんじゅにより、高い燃焼度が実現できることを実証すると同時に、実証炉許認可用データを提供する。

諸元	常陽	もんじゅ	実証炉
炉心燃料長さ(cm)	50	93	100
燃料要素直径(mm)	5.5	6.5 (高燃焼度炉心:7.7)	10.4
炉心(等価)直径(m)	0.8	1.8	3.8



○プラント保守技術の高度化

- 合理的な保守技術の確立は実証炉の経済性・信頼性向上に不可欠。
- もんじゅの運転を通じて保守技術を確立するとともに、更なる保守技術の改善を実施し、そのデータと経験を実証炉に反映する。



研究開発例（①:実用化を前提に研究開発を推進）

FaCT

○機器・システムの性能実証試験

実証炉には安全性・信頼性・経済性向上のため、先行炉での使用実績のない様々な革新技术を導入する予定

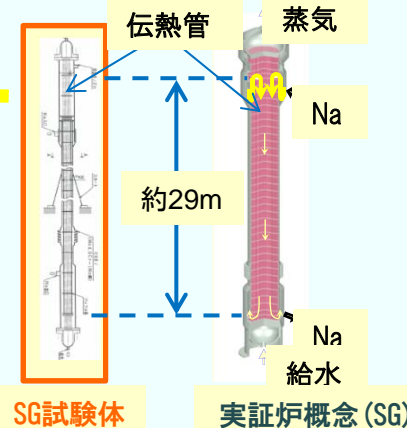
→実証炉の概念設計の成立性を示すため、下記の試験施設等を利用した試験により革新技术を構成する機器・システムの性能を実証する

原子炉・冷却系機器開発試験施設 (AtheNa)



(例)蒸気発生器(SG)の性能実証試験

- 伝熱管の材質・寸法:実証炉とほぼ同等
- 伝熱特性、流動安定性に係る性能実証



○実証炉の概念設計

既往及び今後の要素技術成果(評価手法検証、保守技術開発など)や左記の性能実証成果、もんじゅ成果などを反映しながら実証炉の概念設計を行い、建設に値する安全性・経済性を有することを定量的に示す。

※概念設計とは、プラントの主要な技術仕様を決定し、その成立性を定量的に確認するための設計



実証炉の主要仕様

- ・電気出力:75万kW_e
- ・冷却材:ナトリウム
- ・燃料:MOX燃料

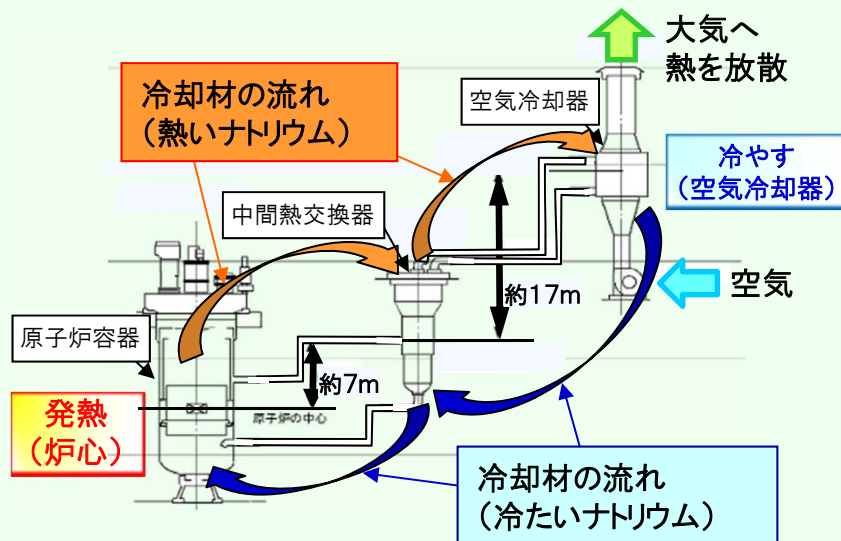
研究開発例（②:実用化を判断するために必要な研究開発）

高速増殖原型炉「もんじゅ」

機器・システム性能の実証、設計手法妥当性確認データの取得

○自然循環による炉心冷却性能確認試験

→全交流電源喪失時においても自然循環によって炉心が安全に冷却できることを実証。
取得データにより、評価モデル高度化・検証。



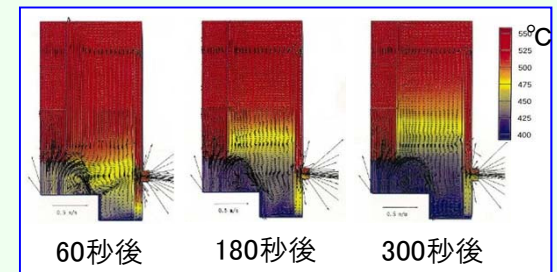
○蒸気発生器伝熱管模擬水漏えい試験

→伝熱管水漏えい発生時の模擬信号を入力し、原子炉自動停止、蒸気発生器急速水抜き等の機能が設計通りに確実に作動することを確認

○プラントトリップ試験

→何らかの異常が発生した際に、設計通りに原子炉が自動停止し、崩壊熱除去関連機器が確実に機能することを確認。また、各種データを取得し、熱流動評価手法等を検証

3次元詳細熱流動解析結果
(プラントトリップ後の原子炉容器上部プレナム部温度)



研究開発例（②：実用化を判断するために必要な研究開発）

FaCT

シビアアクシデント対応の例

・1F事故を踏まえた
対策方針

安全性強化
の要求

具体的な安全強化策の検討・開発

- ・外的事象（地震、津波等）対応
- ・全電源喪失事象への対応
- ・シビアアクシデント対応

安全強化策を踏まえたプラント
イメージの構築と評価

- ・安全性評価
- ・経済性見通し、等

反映

新型炉内冷却器の開発

安全保護系として装備する崩壊熱
除去システムが機能喪失した場合
でも、炉心冷却を可能とする新型冷
却器の開発

炉容器外部からの炉心冷却シ
ステムの開発

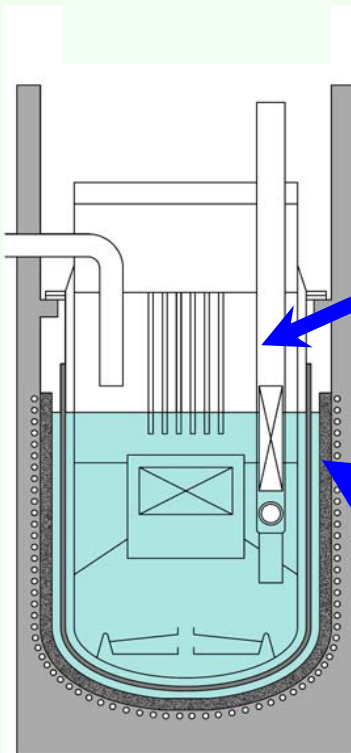
安全保護系の崩壊熱除去系に加え、
新型炉内冷却器も機能喪失した場
合でも炉容器外から炉心冷却を可
能とする冷却システムの開発

設計：

- ・機器、系統の設計データ

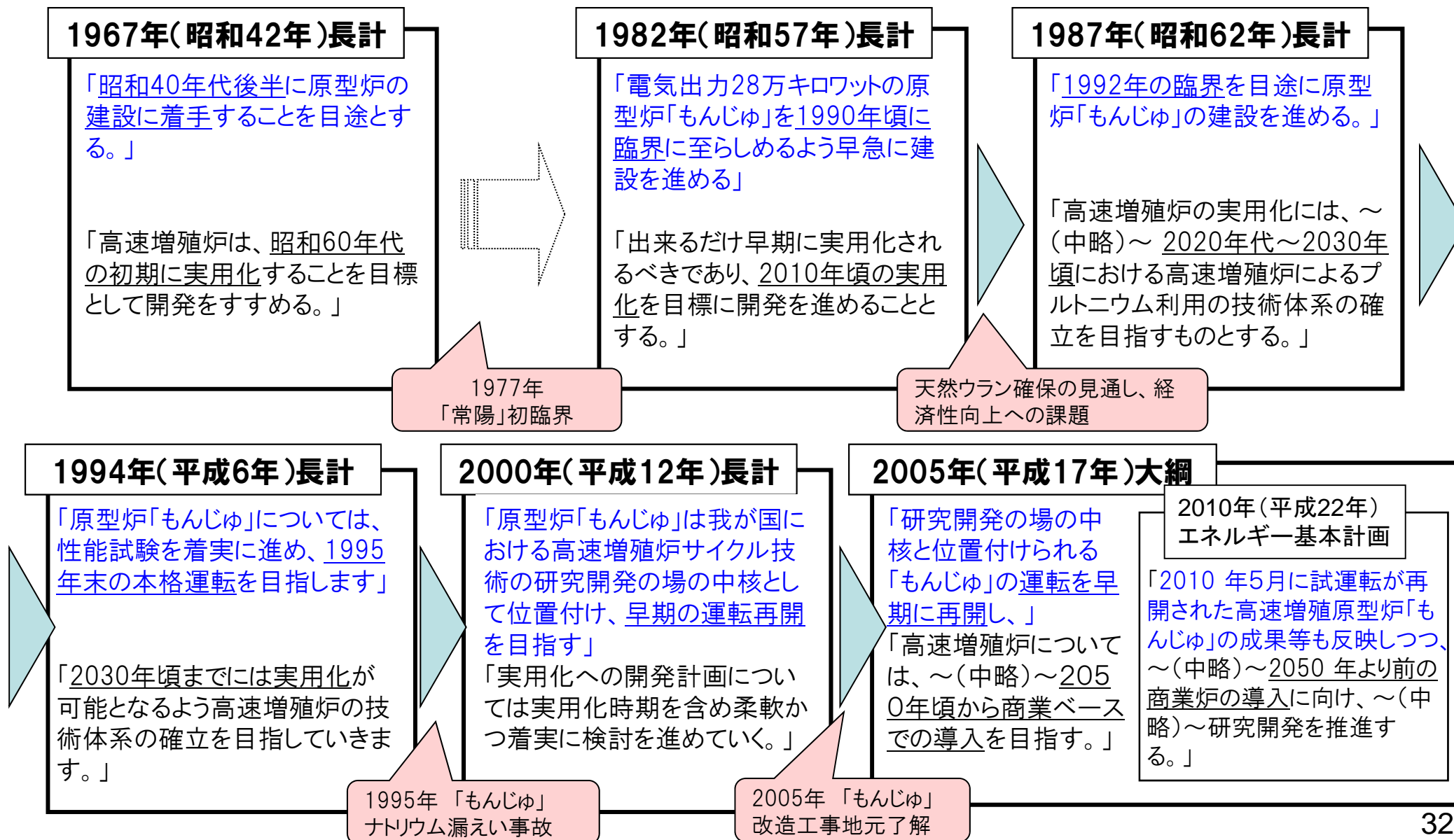
試験：

- ・設計の根拠となるデータ
- ・安全評価の根拠となるデータ

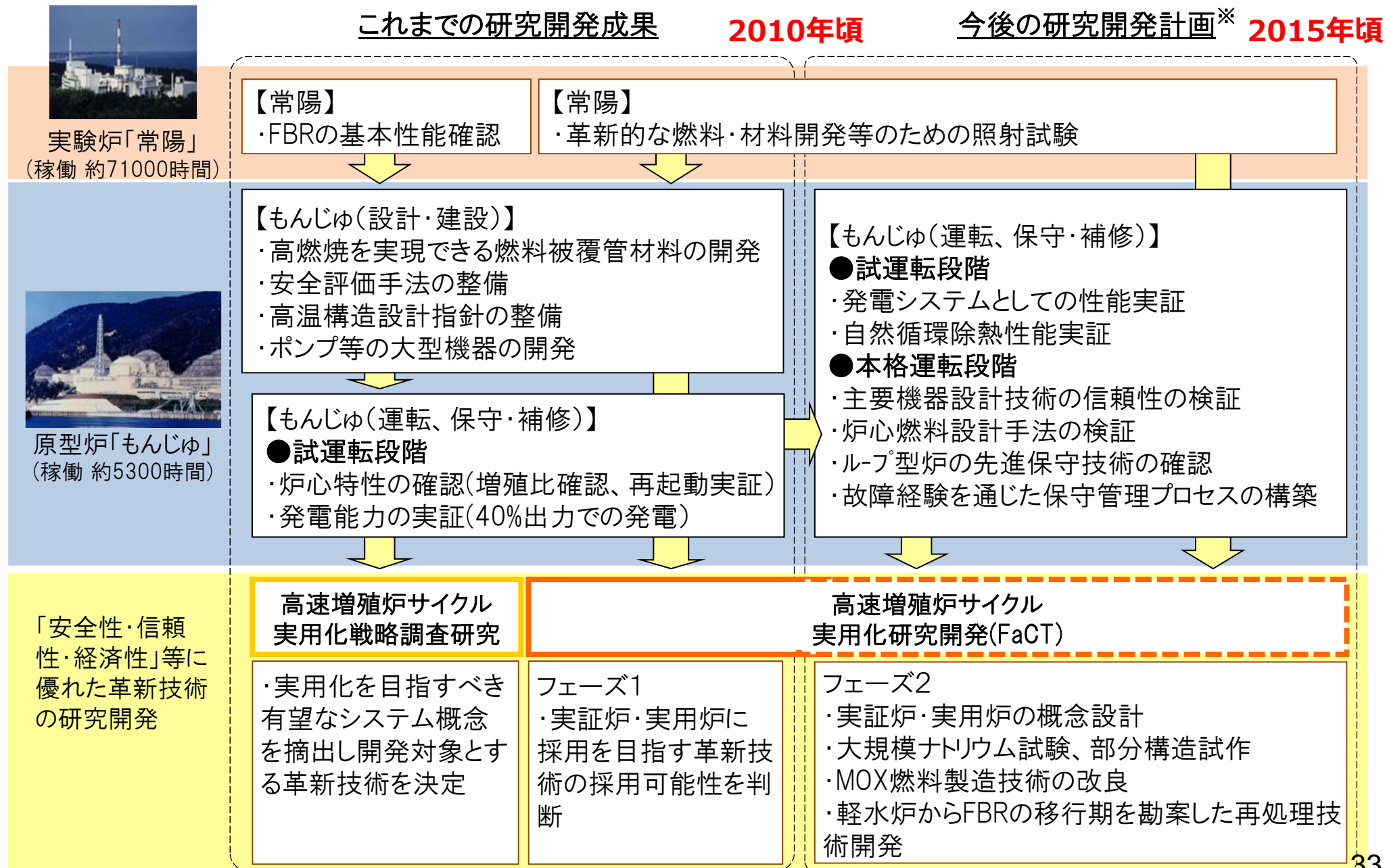


高速増殖炉サイクルの位置付けの変遷

高速増殖炉サイクルの実用化に向けた取り組みについては、これまで原子力委員会が策定する「原子力長期計画(～2000年)」及び「原子力政策大綱(2005年～)」において方針が定められてきた。



高速増殖炉サイクル研究開発の成果と今後の計画



※従来のエネルギー基本計画、原子力政策大綱に沿った具体的な計画

高速増殖炉サイクル実用化研究開発の経緯と現状

文部科学省：平成24年度予算額 33億円
(平成23年度予算額 100億円)
※運営費交付金中の推計額
経済産業省：平成24年度予算額 30億円
(平成23年度予算額 74億円)

1. これまでの経緯

「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故等を踏まえ、再度、ゼロベースで冷却材の選択も含め幅広く高速増殖炉の炉型等を「高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究(FS)」において検討(1999年～2005年)。

その結果、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(主概念)として、「ナトリウム冷却炉(MOX燃料)＋先進湿式法再処理＋簡素化ペレット法燃料製造」を選定。

＜FS終了後に定められた研究開発方針＞

- 主概念を成立させるために必要な革新技术について、集中的に研究開発を行う
- 2015年頃までに高速増殖炉サイクルの実用化像と実用化に至るまでの研究開発計画を提示



高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)を

2006年からスタート

～各フェーズの目標～

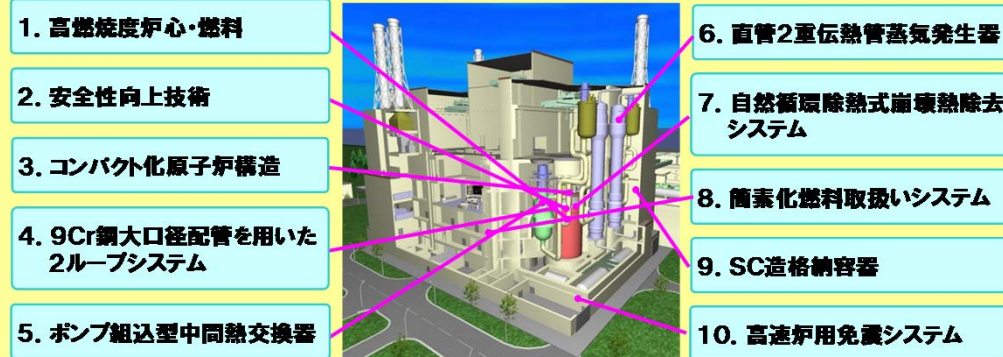
フェーズⅠ：研究開発を通じて革新技术の採否判断を行い、実証炉等のシステム全体が安全性・経済性等の性能目標を達成することを確認すること

フェーズⅡ：フェーズⅠの結果を踏まえ、2015年頃に高速増殖炉サイクルの適切な実用化像(概念設計)とそこに至るまでの研究開発計画を提示する

2. 現状について

- ◆ 原子力機構において、FaCTプロジェクトのフェーズⅠ(2006～2010年度)成果を取りまとめ公表したが、国の評価が中断中。
- ◆ FaCTプロジェクトのフェーズⅡへの移行は見送り。
- ◆ 平成24年度は、維持管理などの必要な取組を除いて、原則研究開発を凍結。
- ◆ 一方で、国際協力の枠組みを活用し、我が国主導の下、次世代高速炉の開発を進める諸国と連携し、安全設計クライテリアの国際標準化等の取組を実施中

ナトリウム冷却炉に関する技術開発課題例

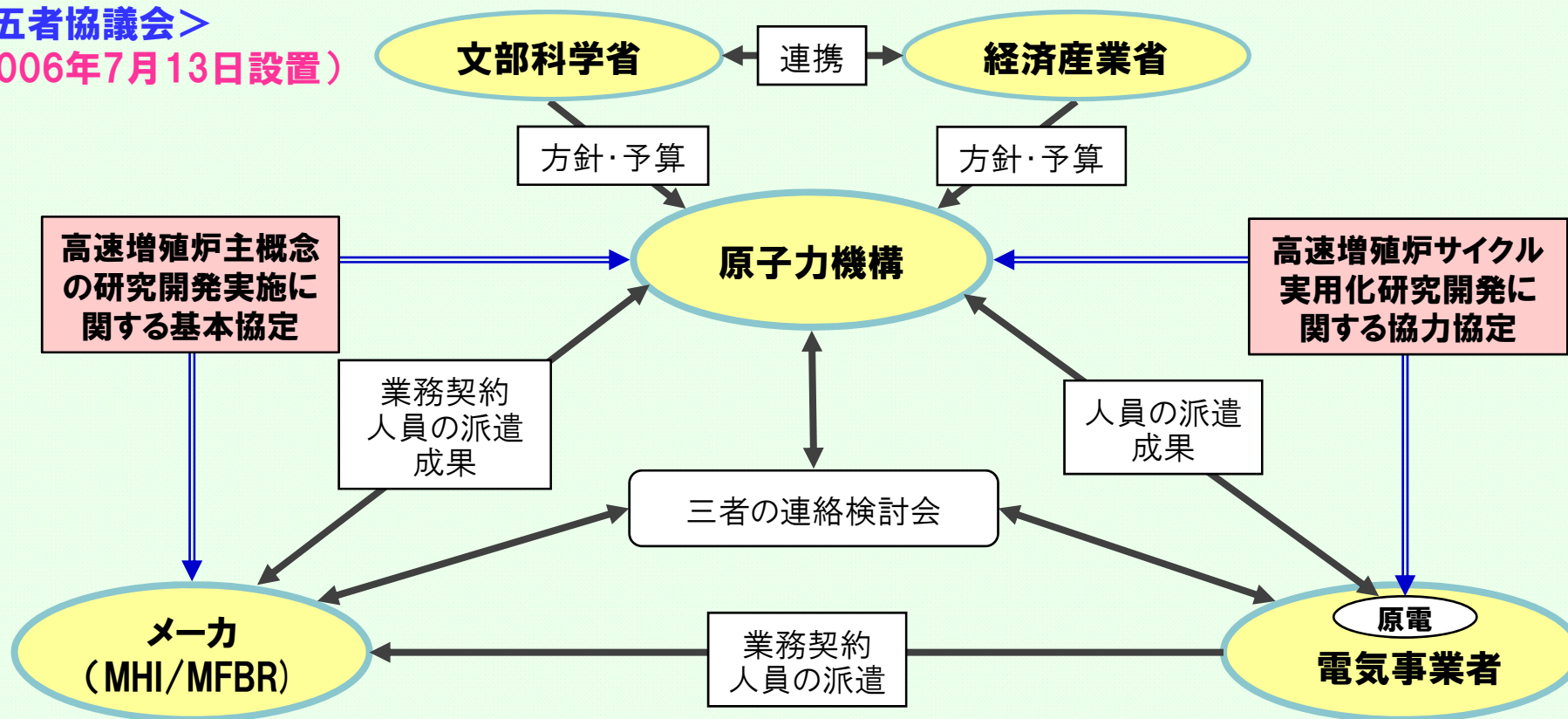


FBRサイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会

- 研究開発段階から実証・実用段階に円滑に移行するため、すみやかに研究開発側と導入者側とで円滑な移行に向けた協議を開始することが必要
- 経産省、文科省、電気事業者、メーカ、原子力機構の関係者により、実証プロセスへの移行にあたっての課題を具体的に検討し認識の共有を行うため、本協議会を開始

<五者協議会>

(2006年7月13日設置)



高速増殖原型炉「もんじゅ」の経緯と現状

平成24年度予算額 175億円
(平成23年度予算額 216億円)
※運営費交付金中の推計額

1. 施設概要

特 徴: プルトニウムとウランを燃料とし、燃えた以上の燃料を生産できる我が国初の発電する研究開発段階の高速増殖炉(建設費約5千9百億円(うち民間出資約1千4百億円)、運転費約3千8百億円)
立地場所: 福井県敦賀市
電気出力: 28万KW(一般の原子力発電所は約100万KW)
位置付け: 実験炉と実証炉をつなぐ中間段階のもので、高速増殖炉の実用化のため開発が必要不可欠な原子炉

2. これまでの経緯

昭和58年 5月 27日 原子炉設置許可
平成 6年 4月 5日 初臨界
平成 7年 8月29日 初送電
平成 7年12月 8日 ナトリウム漏えい事故(以来、約14年間停止)
～もんじゅの位置付けや必要性に関する幅広い議論、
ナトリウム漏えい対策の強化、実施主体(動燃)の改革 等を実施～
平成22年 5月 6日 試運転再開(5月8日臨界達成)
平成22年 7月22日 データ取得を完了し、第一段階の試験完了
平成22年 8月26日 炉内中継装置の落下トラブル発生
平成23年 6月24日 炉内中継装置の引き上げ完了
平成24年 3月 9日 炉内中継装置落下トラブル法令報告(最終)提出

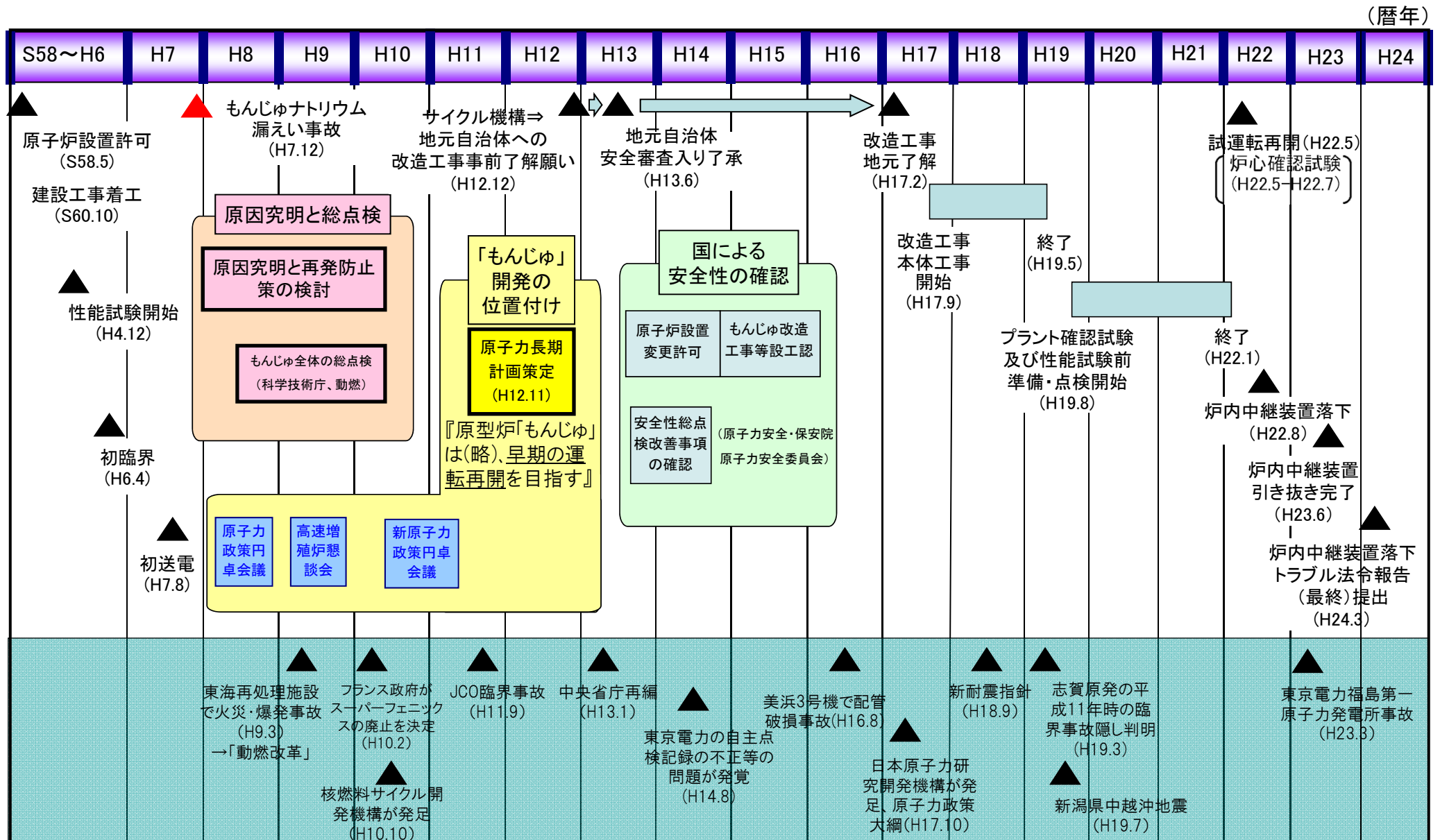


高速増殖原型炉「もんじゅ」

3. 現状について

○東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故を踏まえた安全対策に最優先に取り組むこととし、平成23年度末に実施する予定だった40%出力プラント確認試験については、今年度の夏を目途に策定される予定の革新的エネルギー環境戦略、原子力政策大綱やエネルギー基本計画等を踏まえ、その実施を判断。

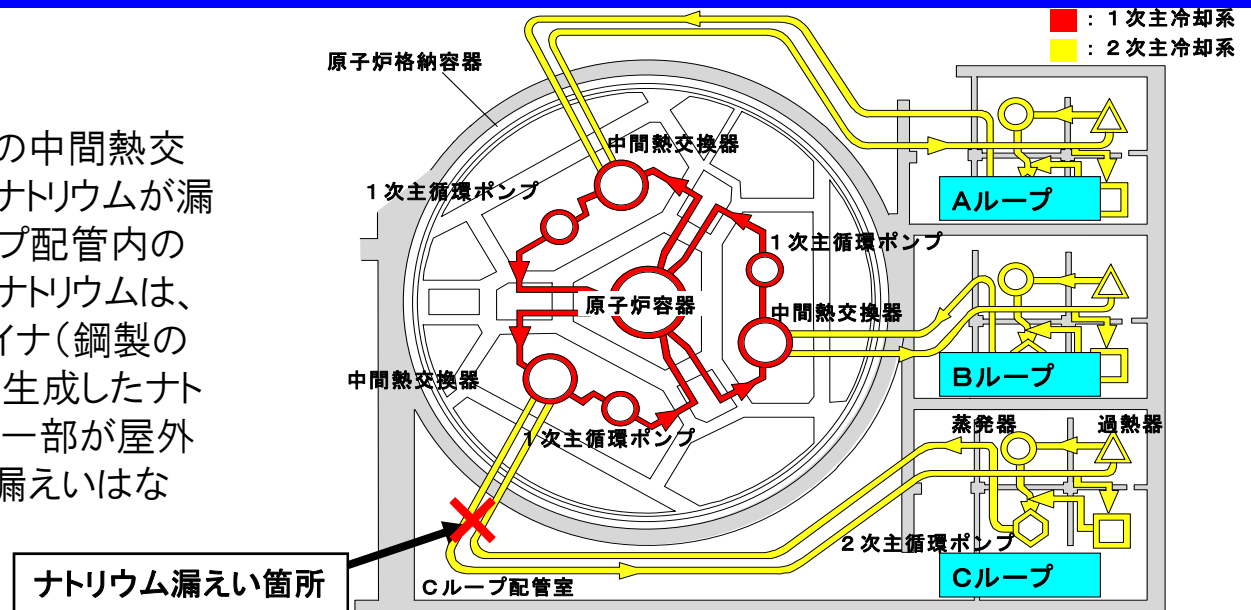
高速増殖原型炉「もんじゅ」のこれまでの経緯



ナトリウム漏えい事故の概要

事故の概要

平成7年12月8日、2次系主冷却系Cループの中間熱交換器出口側配管にある温度計から、2次系のナトリウムが漏えいした。原子炉を手動で停止した後、Cループ配管内のナトリウムを抜き取り、漏えいを止めた。漏れたナトリウムは、真下にある換気ダクト、足場を破損させ、床ライナ（鋼製の板）上に堆積するとともに、ナトリウム燃焼により生成したナトリウム化合物（エアロゾル）が建物内に拡散し、一部が屋外に放出された。なお、外部への放射性物質の漏えいはなかった。



事故の経緯

平成7年12月8日

- 19:47 事故発生。火災検知器発報
- 19:48 ナトリウム漏えい検知器発報
現場にて煙の発生を確認
- 20:00 小規模漏えいと判断し、通常停止
操作開始
- 20:50 火災検知器の新たな発報（急増）
と白煙の増加を確認
- 21:20 原子炉手動トリップ操作
- 22:55 Cループ配管部のドレン操作開始
- 23:13 S G室換気装置が自動停止

平成7年12月9日

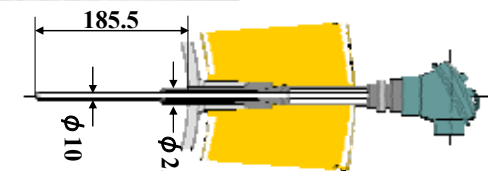
- 0:15 ナトリウム抜き取り完了

火災検知器はCループの部屋を中心に66個発報

項目		データ
Na漏えい量 (漏えい時間)		640±42kg (3時間40分)
Na漏えい速度		約50～40g/sec
部屋容積 (壁材質)		約2300m ³ (コンクリート)
初期室温 (相対湿度)		～15℃ (40%*)
床ライナ	床ライナの 減肉	床ライナの一部に最 大1.5mm程度の減肉
	温度	最大650～750℃

*外気温5℃の相対湿度より換算

冷却システムの配置



漏えい漏れの原因となった温度計

ナトリウム漏えい事故における対応の問題点

(1) 事故発生第1報の遅れ

- ・事故発生：平成7年12月8日(金)19:47
- ・所外への通報連絡開始：同日 20:35頃
関係機関の期待するような速やかさではなかった。

➡ (約50分)

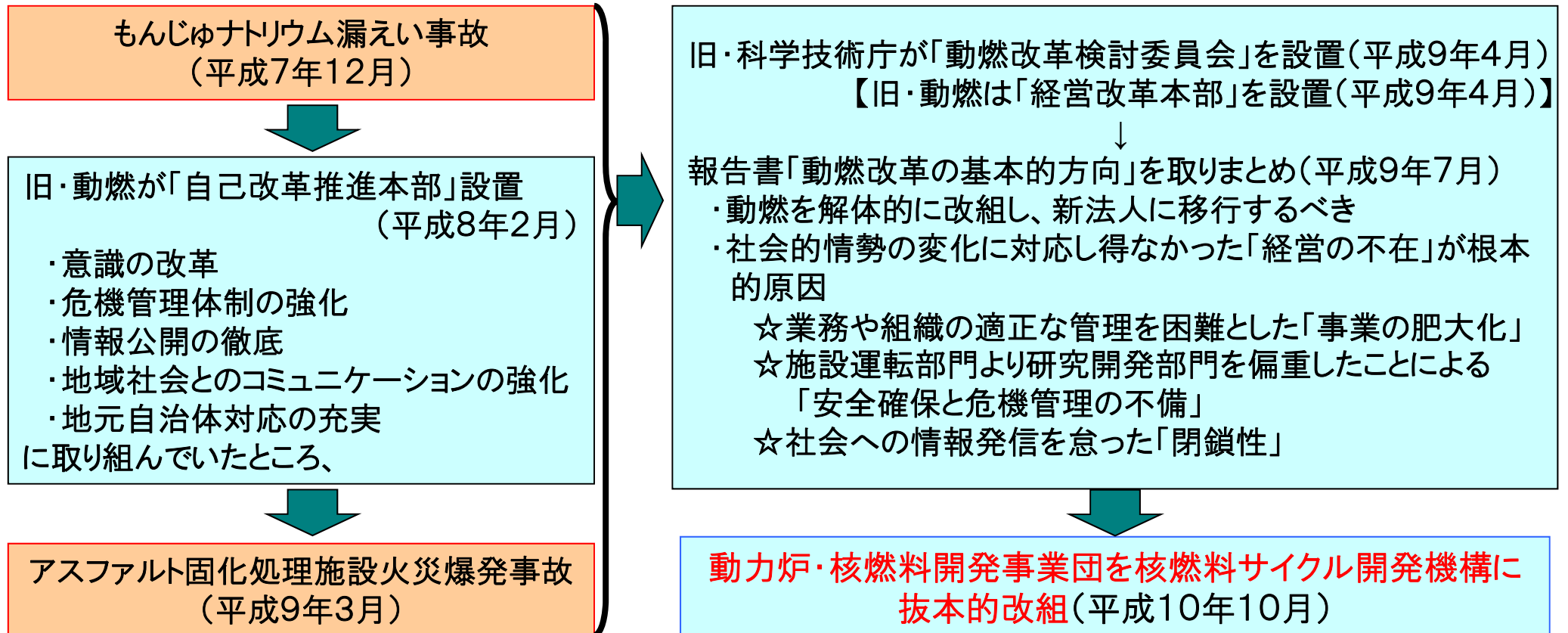
(原因)

- ・関係機関への連絡は、本社を経由して行っていたため、連絡がなされるまでに何段階もの中継者やチェックが入る流れであった。
- ・時間外における事故時の体制が手薄であった。

(2) 事故直後の不適切な情報提供

- ・事故直後の混乱から「事故現場への2時の入域時刻を10時であるとして偽っていた問題」、「ビデオを意図的に短く編集した問題」を起こし、虚偽報告や情報隠しの体質ありとの厳しい指摘を受けた。
- ・こうした不手際が、いわゆる「ビデオ問題」として総称され、社会全体に大きな影響を与える結果(事故が事件)となった。

再発防止に向けた改革・改善

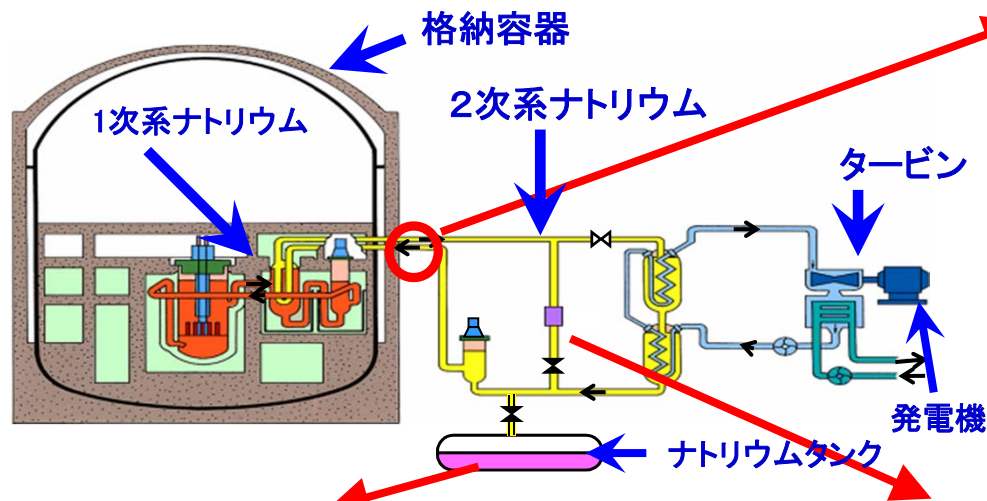


抜本的改組のポイント

- ◆事業の廃止を含め**業務のスリム化**(海外ウラン採鉱・ウラン濃縮研究開発、新型転換炉研究開発から撤退→高速増殖炉関連開発と放射性廃棄物の埋設処分に関する研究開発に集中)
- ◆各事業所に**運転管理・施設運営等に関する責任と裁量権を移譲**するとともに、本社の人員を4割減らして**施設運転部門等の施設の保全・管理に関わる部署に充当**
- ◆**広報・情報公開を徹底**し、公開シンポジウム等による国民と双方向の情報交流を推進
- ◆立地地元重視の観点から、**東海地区に本社を移し、敦賀地区に敦賀本部(本部長・副理事長)を設置**

ナトリウム漏えい事故を受けた「もんじゅ」の改造工事の概要

平成19年5月23日本体工事 終了



温度計の交換・撤去

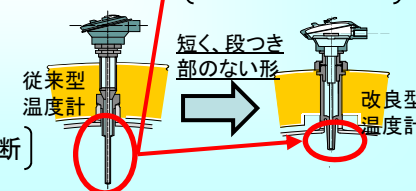
○短く、段つき部のない形の温度計に交換し、流力振動を防止する



〔事故のあった部分の配管を交換のため切断〕



〔改良型温度計〕



ナトリウム漏えい対策に係る改造

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



〔ナトリウム抜き取り(ドレン)配管の追加設置〕



〔総合漏えい監視システムの追加設置〕

既存のナトリウム漏えい検出器に加え、2次系の各部屋に監視カメラを新設し、その映像も含め、中央制御室にナトリウム漏えいに関する情報を一括して自動的に表示

漏えいナトリウムによる影響の抑制に係る改造

○窒素ガス注入設備の設置、壁・天井への断熱材の設置、換気空調設備の改造等により、ナトリウム漏えい時の施設への影響を抑制する



〔窒素ガス充填設備の設置工事〕

2次冷却系においてナトリウム漏えい時に漏えいをした部屋に窒素を注入



〔断熱材の取付工事〕

コンクリートは100℃を超えると、保有している水分が急激に放出されるので、壁・天井に断熱材を設置しコンクリートの温度上昇を抑制

この他にも安全性向上のため、蒸気発生器の水漏えいを確実に検知して早く水を抜き取るための工事等を実施

炉内中継装置(燃料を交換するための設備の一部)の落下トラブルの概要

トラブルの概要

平成22年8月26日、燃料交換に使用した炉内中継装置を原子炉容器の所定の位置から引き抜く作業をしていたところ、所定の位置より約2m位吊り上げた時点で、炉内中継装置が吊り上げ設備(原子炉機器輸送ケーシング)のつかみ装置(グリッパ)から外れ、落下したものの。

落下、復旧に係る経緯

炉心確認試験終了後、40%出力プラント確認試験に向け、燃料交換を実施。

H22.8.26: 炉内中継装置が落下

10.13: 引抜作業を実施したが、「荷重超過」の警報が発報し中断

11. 9: 接続部のギャップが変化していることを確認

H23.6.24: 燃料出入孔スリーブとの一体引抜き作業完了

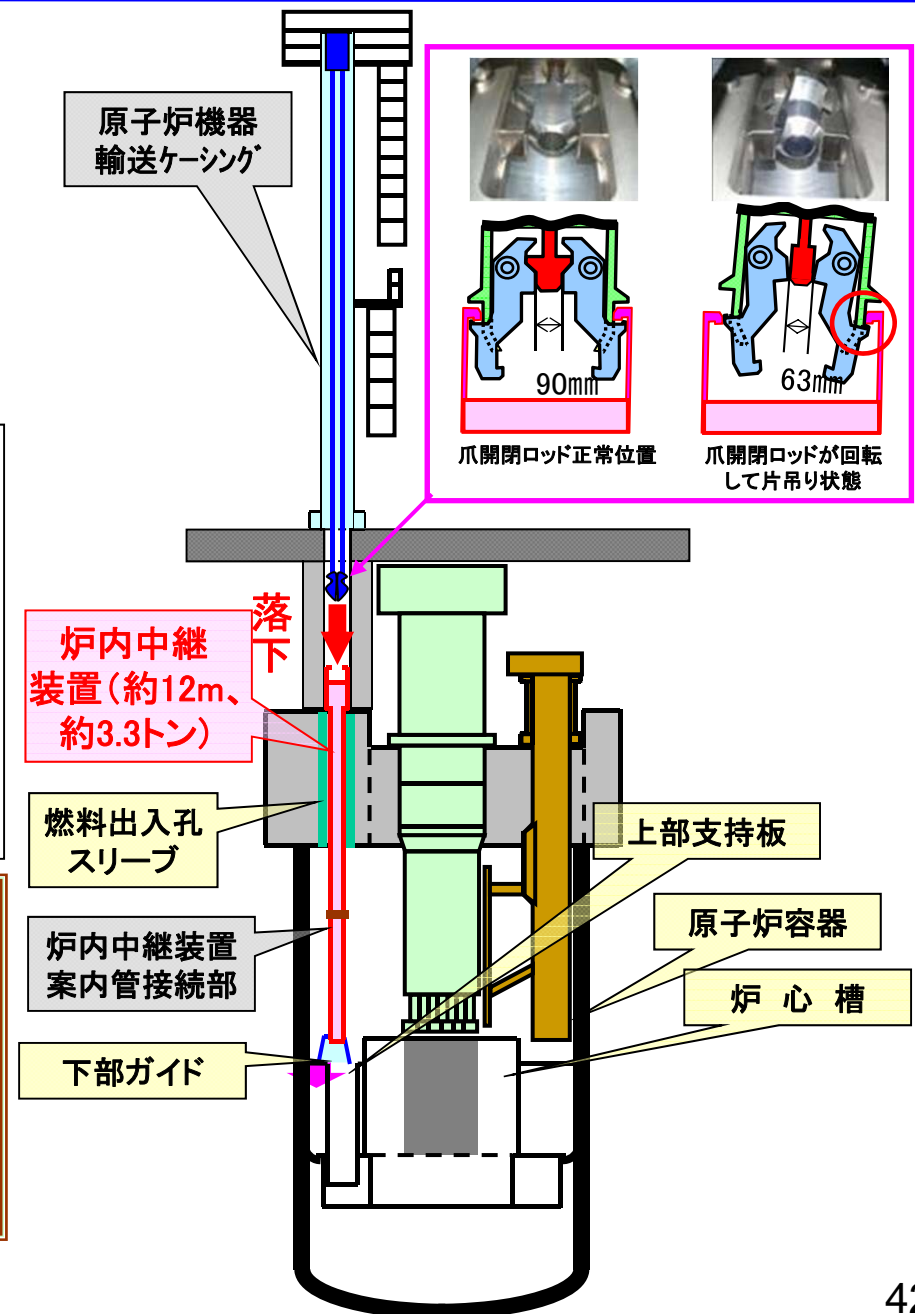
11.11: 原子炉上部における復旧作業終了

法令報告を規制当局へ提出(H24.3.9)

【落下の直接原因】炉内中継装置を吊るグリッパの平板形状の爪開閉ロッドが回転したため、爪が正常に開かない状態となった。

【再発防止対策】グリッパを、爪開閉ロッドが回らない構造へ改良、グリッパの爪開閉状態目視用点検窓設置

【水平展開】グリッパ機構を有する設備、安全上重要な機器を吊る設備の点検



→今後、新規製作の炉内中継装置の機能試験

東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえた追加安全対策

緊急安全対策の実施について（平成23年3月30日保安院指示）

指示時点で判明している知見に基づき、全交流電源、炉心及び使用済燃料貯蔵槽の冷却機能が喪失した場合においても、炉心損傷及び使用済燃料の損傷を防止し、原子炉施設の冷却機能の回復を図る措置

（具体例）

電源車及び電源ケーブルの配備、緊急時対応計画の点検と訓練、
代替空冷電源設備の設置（24年度中）等

シビアアクシデントへの対応に関する措置の実施について（平成23年6月7日保安院指示）

東電福島原発事故を踏まえ、万が一シビアアクシデントが発生した場合でも迅速に対応する観点から措置すべき事項のうち、直ちにに取り組むべき措置

（具体例）

中央制御室の作業環境の確保、緊急時の通信手段の確保、
がれき撤去用の重機の配備等



配備したホイールローダ

原子炉施設の安全性に関する総合評価の実施について（平成23年7月22日保安院指示）

安全性にかかる総合評価（ストレステスト）を実施中。

更なる安全性向上への取り組み

文部科学大臣の指示により、原子力機構に第三者によるもんじゅの安全性を審議する場を設置。以下について検討を行い、その内容をもんじゅの更なる安全性向上に係る取組に反映

- ① ストレステストの計画、実施方法・内容、評価結果
- ② シビアアクシデントの対応方策

各国の高速炉開発の状況

フランス

- ・高速増殖原型炉(フェニックス)・実証炉(スーパーフェニックス)の運転経験があり、増殖性は確認済み
- ・現在は、放射性廃棄物対策を主眼に開発

現在稼働中の炉はない

2020年
原型炉と実証炉の中間
タイプの炉(ASTRID)の
運転開始を目標

設計段階

構想段階

2040年頃
商用炉の
導入予定

ロシア

- ・原型炉運転中(BN-600):豊富な運転経験
- ・解体核からのPuがあり、現時点で増殖は選択せず
- ・商用炉から増殖させる計画を持つ

実証炉(BN-800)
建設中

2014年
実証炉(BN-800)
運転開始予定

建設段階

2020年
商用炉(BN-1200)
運転開始予定

設計段階

中国

- ・原型炉を作らず、ロシアの技術を借り、実証炉を建設予定。自主技術路線も併用
- ・実証炉から増殖させる計画を持つ

試験運転中
2010年7月
実験炉(CEFR)
臨界

2011年7月
発電

2018~2023年頃
実証炉
運転開始予定

設計段階

構想段階

2030年頃
商用炉の
導入予定

インド

- ・実験炉(FBTR)運転中
- ・電力需要の急伸への対応のため、当面は高速増殖炉技術の獲得を目指す
- ・原型炉から増殖させる計画を持つ

原型炉(PFBR)
建設中

2013年
原型炉(PFBR)
運転開始予定

建設段階

2023年までに
商用炉(CFBR)を複数
建設する計画
その後は、金属燃料の
商用炉に移行

設計段階

将来は、インド独自のトリウム燃料サイクルの確立を目指す

韓国

- ・高速炉開発を国家長期研究計画に位置付け、2028年頃の高速原型炉の導入を予定。

アメリカ

- ・実験炉(EBR-1、EBR-2、Fermi炉など)の運転経験があり、原型炉(CRBR)を建設していたが、1977年政権交代において、既存の増殖炉計画を改め、その商業化を延期する骨子の原子力政策を発表
- ・現在は、基礎的研究開発を実施中

イギリス ドイツ

- ・実験炉(DFR)・原型炉(PFR)の運転経験があるが、北海油田の発見もあり、経済・産業政策のため高速炉計画は中止
- ・実験炉(KNK-II)の運転経験があるが、原型炉(SNR-300)は建設中に政策議論や財政難のため中止。