



核燃料サイクルの実用化 に向けた日本の取組み

2008年9月12日

柳澤 務

日本原子力研究開発機構



0



内 容

1. はじめに
2. 国策としての核燃料サイクルの推進と高速増殖炉 (FBR) 開発
3. 軽水炉燃料サイクルの推進に向けた取組みの現状
4. 高速増殖炉 (FBR) の開発 (もんじゅは今)
5. FBRサイクル実用化のための研究開発計画 (FaCT) プロジェクト
6. FBRサイクル実用化に向けた国際協力
7. まとめ

1



1. はじめに

2



■厳しさを増すエネルギーを取巻く事情

- ◇原油価格など歯止めのかからない燃料価格の高騰
- ◇世界的なエネルギー資源獲得競争の激化

■地球温暖化問題に貢献できる安定したエネルギー確保の重要性

- ◇地球温暖化問題に向けたCO₂削減の必要性
- ◇CO₂を排出しない原子力エネルギーの有用性

■核燃料サイクルの実用化に向けた我が国の取組み

- ◇ウラン資源の有効活用
- ◇FBRサイクル実用化研究開発 (FaCT) プロジェクト

3



2. 国策としての 核燃料サイクルの推進とFBR開発

4



原子力政策大綱(2005年10月閣議決定)

1. 2030年以降も原子力発電が総発電量の30~40%の水準かそれ以上の供給割合を担うことを目指す。
2. 核燃料サイクルを推進する。(使用済燃料を再処理し、ウランやプルトニウムなどを有効利用)
3. 高速増殖炉(FBR)は2050年頃から商業ベースでの導入を目指す。



国の第3期科学技術基本計画

FBRサイクル技術は、長期的なエネルギー安定供給と地球環境と調和の取れた発展に寄与することが可能であるとの評価から「**国家基幹技術**」として指定された。(2006年3月)

5



＜FBRサイクル技術に係る研究開発の基本方針＞

原子力委員会は、今後10年程度の間における研究開発に関する基本方針を次のように決定（2006年12月）

主な基本方針

■2015年頃に実用化研究開発計画を提示

文科省、経産省、原子力機構は、電気事業者、製造事業者と連携・協力し、“FBRサイクル技術の成立性の見極め”とともに、実証施設及び実用施設の概念設計とその開発計画を2015年頃に提示することを目指す。

■「もんじゅ」の運転再開と実用化に向けた成果の反映

原子力機構は、2008年度に「もんじゅ」の運転を再開し、10年程度を目途に所期の目的を達成し、その後は、実用化に向けた実プラントでの実証の場として利活用して行く。

出典：「原子力2007」、改訂第34版、第2章原子力政策、P13,14、経済産業省 資源エネルギー庁

6

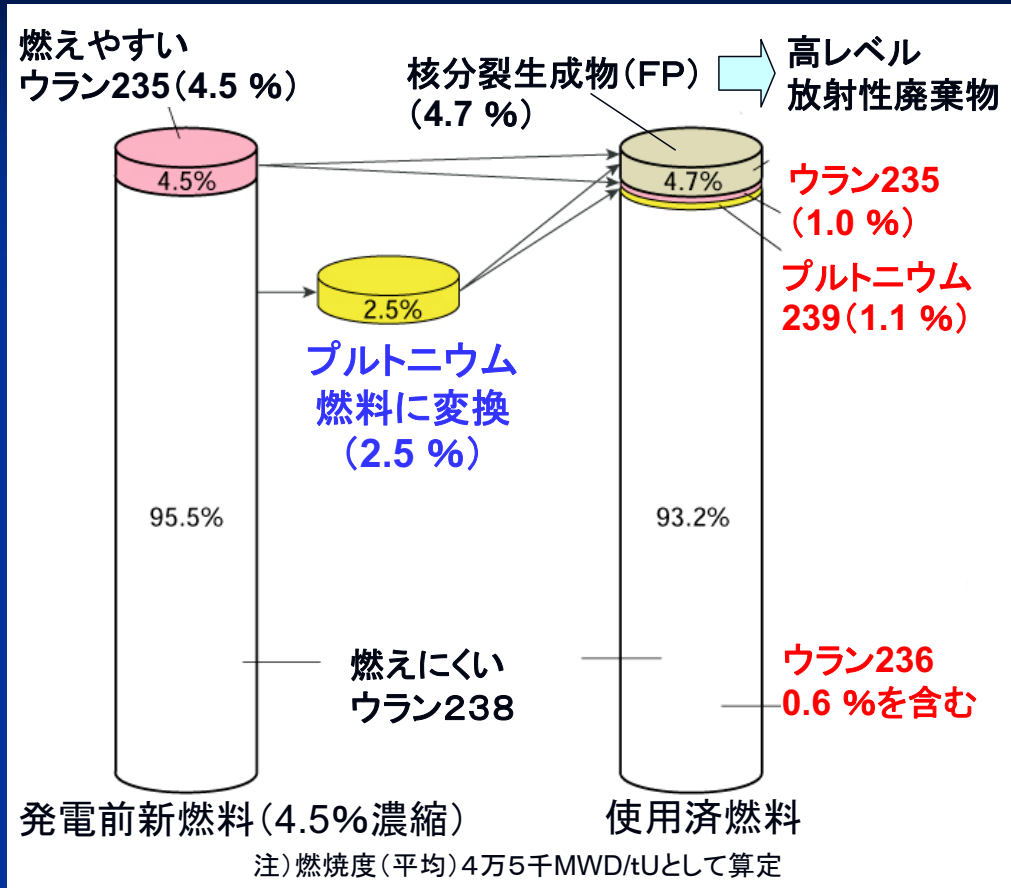


3. 軽水炉燃料サイクル（プルサーマル）の推進に向けた取組みの現状

7



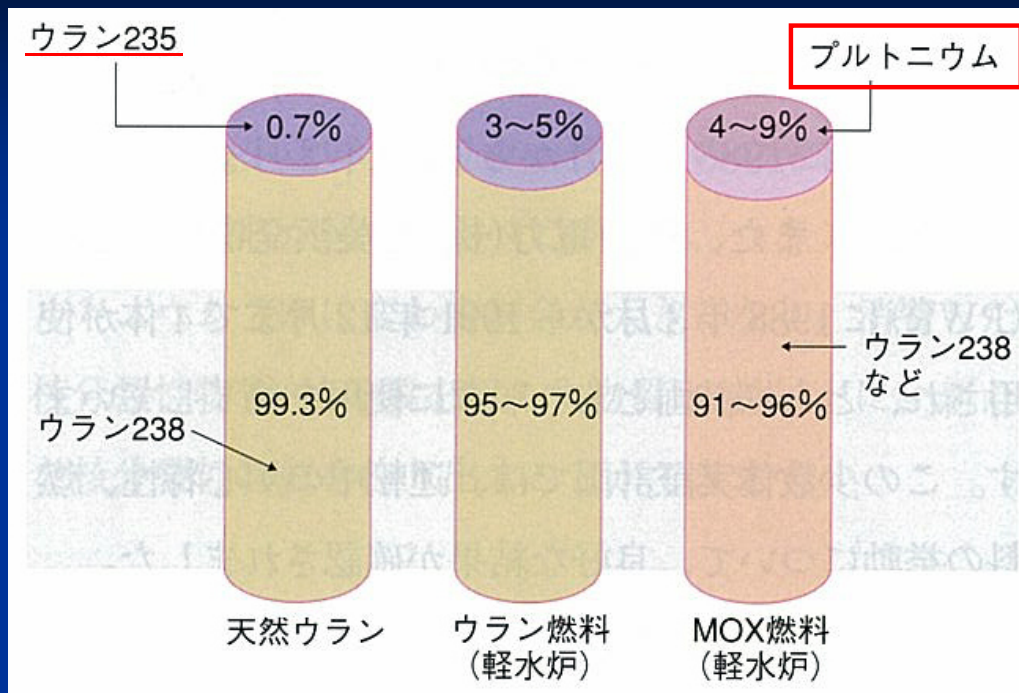
<軽水炉使用済燃料中の核分裂性物質の割合>



出典:「原子力・エネルギー」図面集2008、軽水炉内でのウラン燃料の燃焼による変化、P7-2、電気事業連合会



<混合酸化物 (MOX) 燃料>



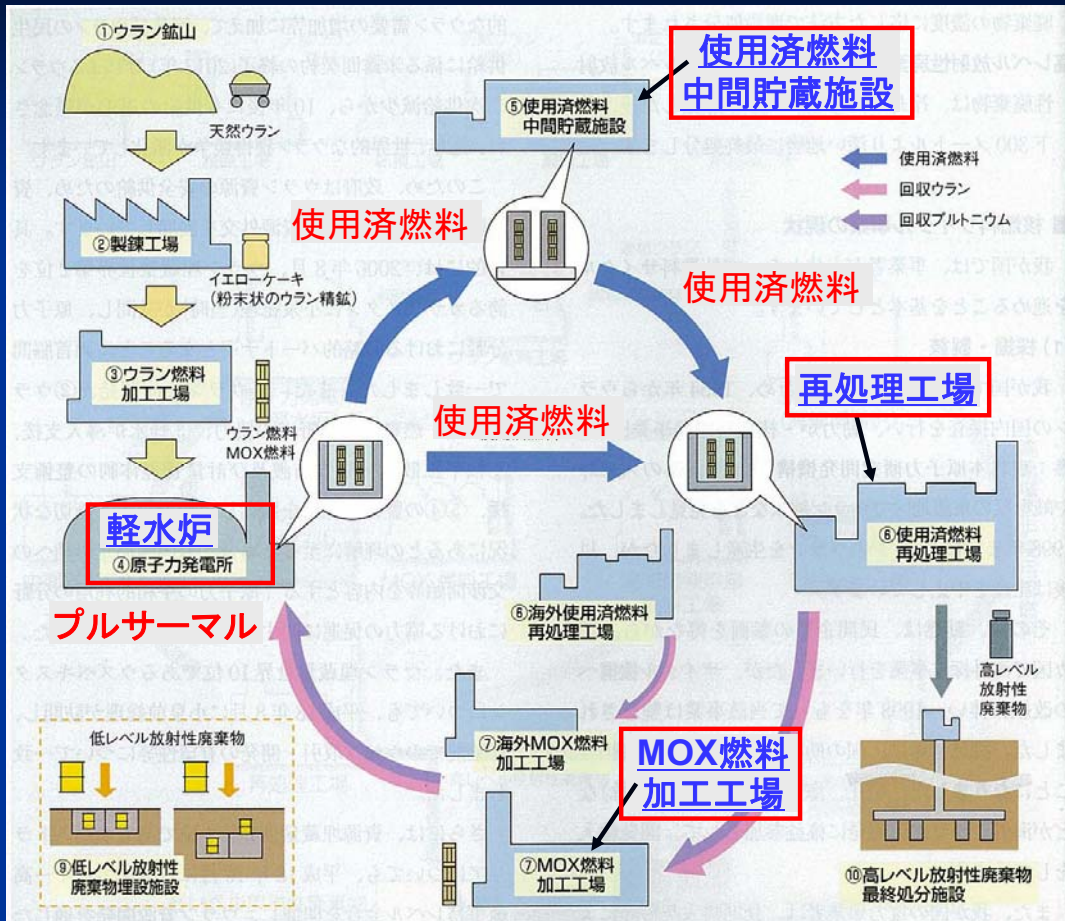
(MOX (Mixed Oxide) 燃料)

使用済燃料中に含まれるプルトニウム燃料を抽出し、**ウラン235の代わりに回収プルトニウムを使用**。二酸化プルトニウム (PuO₂) と二酸化ウラン (UO₂) の混合酸化物燃料の混合酸化物燃料として使用し、**プルトニウム富化度は大体4~9%程度**。

出典:「原子力2007」、改訂第34版、第4章核燃料サイクル、プルサーマルの現状、P45、経済産業省 資源エネルギー庁



<軽水炉核燃料サイクル(プルサーマル)>

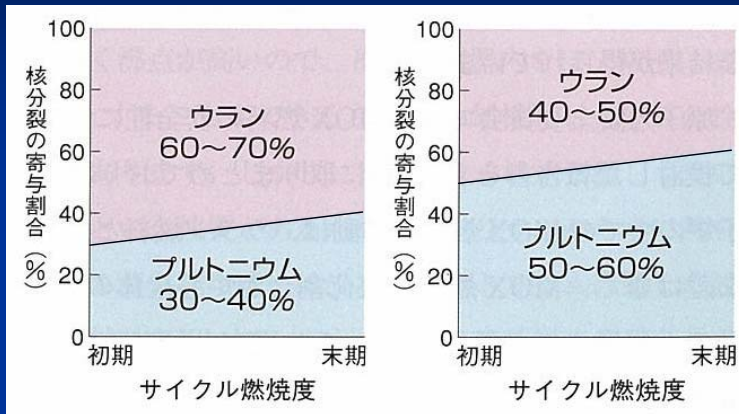


出典:「原子力2007」、改訂第34版、第4章核燃料サイクル、核燃料サイクルの現状、P42、経済産業省 資源エネルギー庁

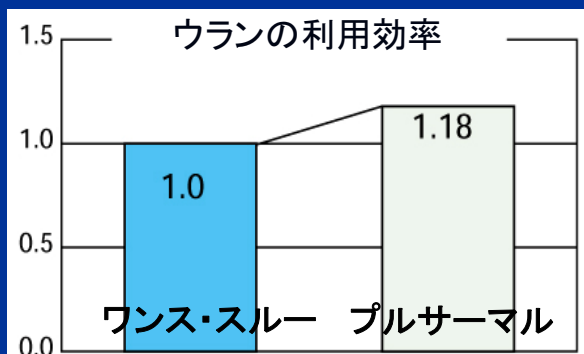


<プルサーマルによるウラン資源の利用効率>

全てがウラン燃料の場合 燃料の1/3がMOX燃料の場合



燃料の1/3をMOX燃料とした場合、プルトニウムの核分裂への寄与度は過半数を超える。



再処理しないワンス・スルーのケースに比べてプルサーマルは約1.2倍程度ウラン資源を有効活用できる。



＜プルサーマル推進に向けた我が国の現状＞

■九州電力

- ◇2005年9月：国より原子炉設置変更許可を取得。(2004年5月)
- ◇2006年3月：地元自治体の了解を得て、現在MOX燃料の調達手続き中

■四国電力

- ◇2006年3月：国より原子炉設置変更許可を取得。(2004年11月申請)
- ◇同年10月：地元自治体の了解を得て、現在MOX燃料の調達手続き中

■中部電力

- ◇2005年9月：2010年度開始のプルサーマル計画を県・市等に説明。
- ◇2006年3月：国に原子炉設置変更許可を申請

■中国電力

- ◇2006年10月：県・市から2010年開始のプルサーマル計画の了解を取得
- ◇同年10月：国に原子炉設置変更許可を申請

■関西電力

- ◇2008年1月：美浜発電所3号機での2次系配管破断事故を受けて中断していたプルサーマル計画の準備作業を再開

■電源開発

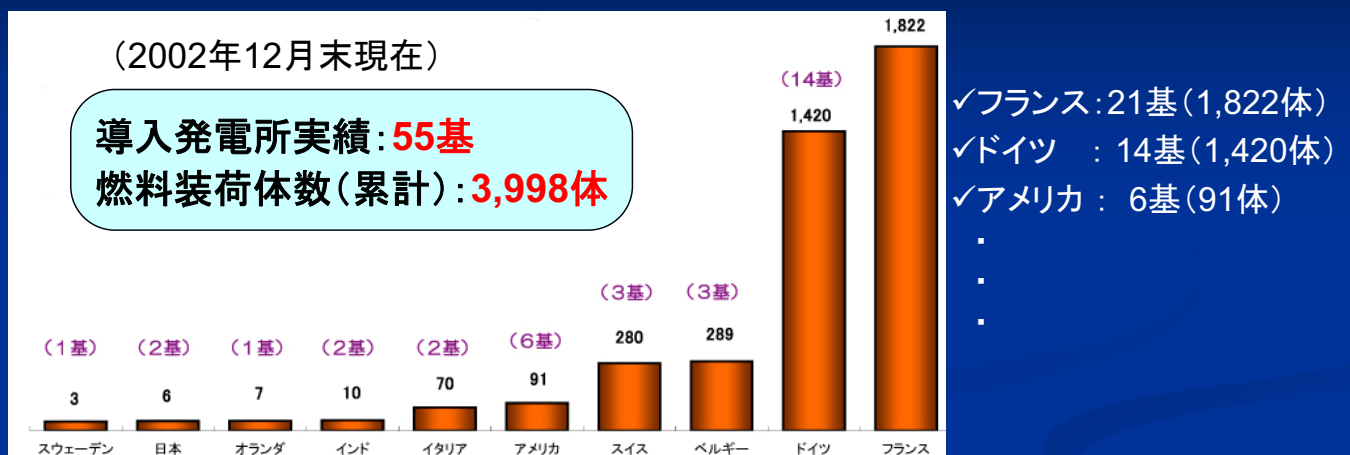
- ◇全炉心MOX燃料を目指す改良型沸騰水型軽水炉(APWR)の建設準備中

出典：「原子力2007」、改訂第34版、第4章核燃料サイクル、プルサーマルの現状、P46～47、経済産業省 資源エネルギー庁



＜プルサーマル利用(MOX燃料)の実績＞

■ 世界におけるMOX燃料の使用実績



■ 「ふげん」におけるMOX燃料の使用実績



- 世界実績の約1/6に相当する**772体**を使用
- **1基当りの装荷体数は世界最多**
(2003年3月まで)



＜核燃料サイクル施設(青森県六ヶ所村)＞

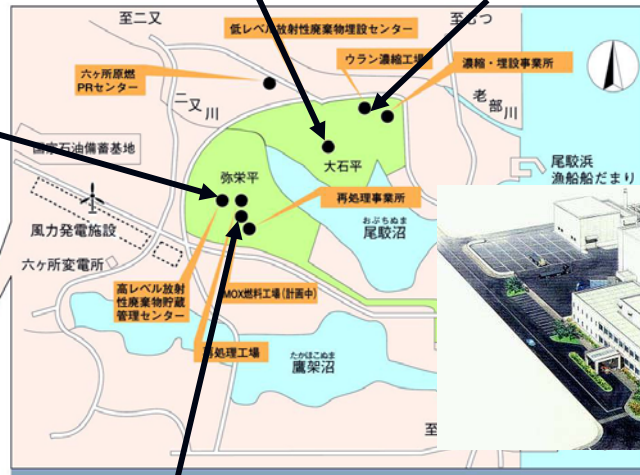
(低レベル放射性
廃棄物埋設センター)
※操業中



(ウラン濃縮工場)
※操業中



(高レベル
放射性廃棄物貯蔵管理
センター)
※操業中



(MOX燃料加工工場)
※工事許可申請中

(再処理工場)
※操業前試験中



出典：日本原燃(株)パンフレット及び
日本原燃(株)ホームページ

出典：「原子力2007」、改訂第34版、第4章核燃料サイクル、核燃料サイクルの現状、P43、経済産業省 資源エネルギー庁



＜核燃料サイクル施設(青森県六ヶ所村)の状況＞

	施設の規模	工期	状況
再処理工場	<ul style="list-style-type: none"> ●最大処理能力 -800トン・ウラン/年 ●使用済燃料貯蔵容量 -3,000トン・ウラン 	<ul style="list-style-type: none"> ✓工事開始 -1993年 ✓竣工 -2007年11月 	2008年からの操業開始 を目指して 2008年2月 現在アクティブ試験中
MOX燃料加工工場	<ul style="list-style-type: none"> ●最大処理能力 -130トン・HM/年 	-	2012年操業開始を目指 して 2005年4月加工事 業許可を申請
高レベル放射性 廃棄物貯蔵管理センター	<ul style="list-style-type: none"> ●返還廃棄物貯蔵容量 -ガラス固化体:1,440本 (最終的には) -ガラス固化体:2,880本 	<ul style="list-style-type: none"> ✓工事開始 -1992年 ✓竣工 -1995年 	1995年操業開始
ウラン濃縮工場	<ul style="list-style-type: none"> ●ウラン濃縮能力 -1,050トンSWU/年 (最終的には) -1,500トンSWU/年 	<ul style="list-style-type: none"> ✓工事開始 -1988年/1993年 ✓竣工 -1992年/1997年 	-RE-1:600トンSWU/年 ○ 1992年操業開始 -RE-2:900トンSWU/年 ○ 1997年操業開始
低レベル放射性 廃棄物埋設センター	<ul style="list-style-type: none"> ●埋設能力 -約20万m³(200ℓドラム缶 100万本) (最終的には) -約60万m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓工事開始 -1990年 ✓竣工 -1992年 	約8万m³(200ℓドラム缶 40万本)で操業中

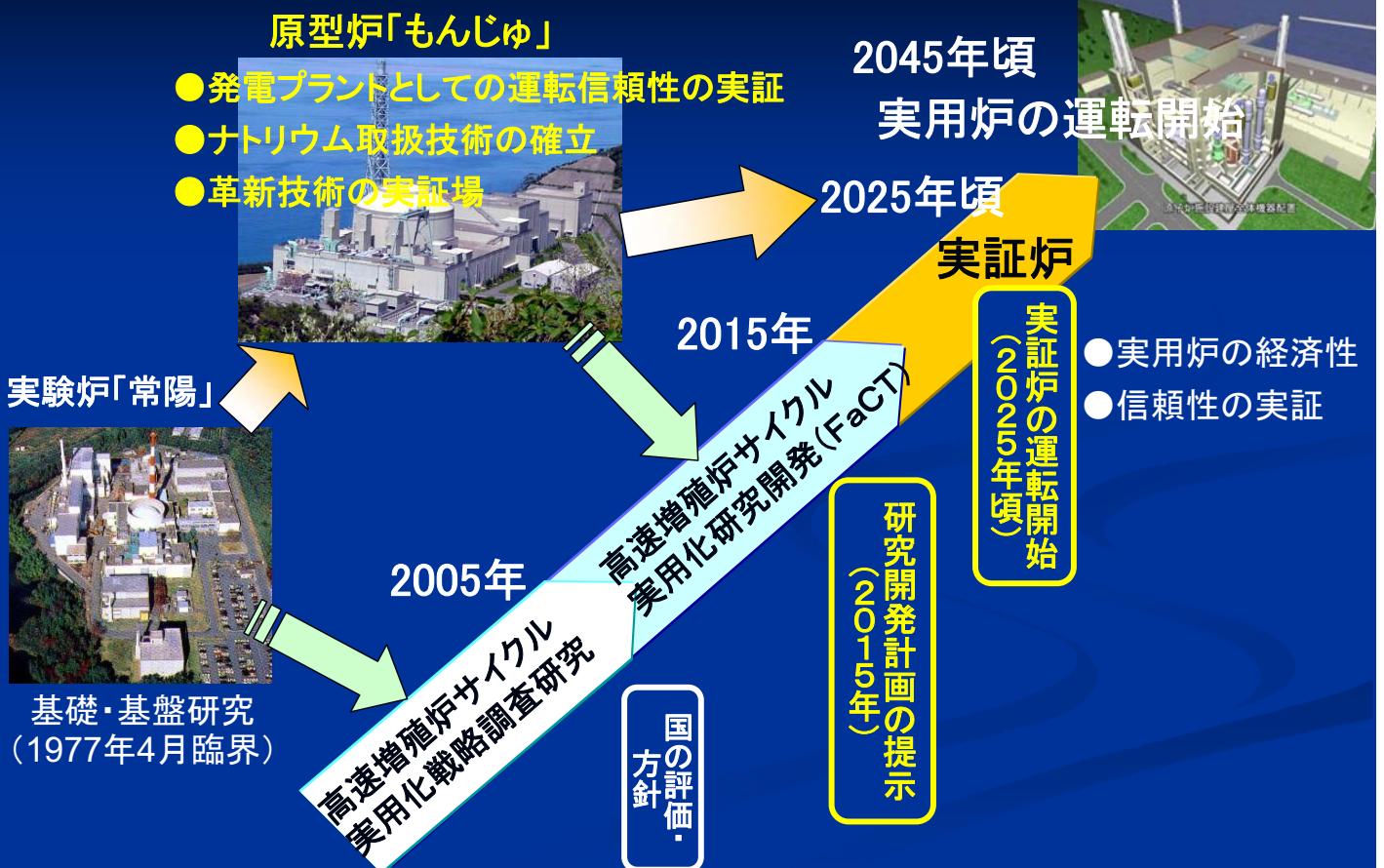
出典：「原子力2007」、改訂第34版、第4章核燃料サイクル、核燃料サイクルの現状、P43、経済産業省 資源エネルギー庁



4. FBRの開発(「もんじゅ」は今)



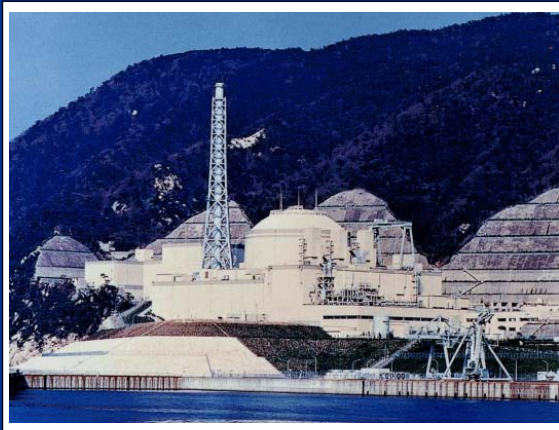
<我が国におけるFBR開発ビジョン>





<高速増殖原型炉(もんじゅ)の沿革>

- 型式：Na冷却高速炉（ループ型）
- 電気出力：28万kW
- 熱出力71.4万kW
- 燃料：Pu-U 混合酸化物(MOX) 燃料

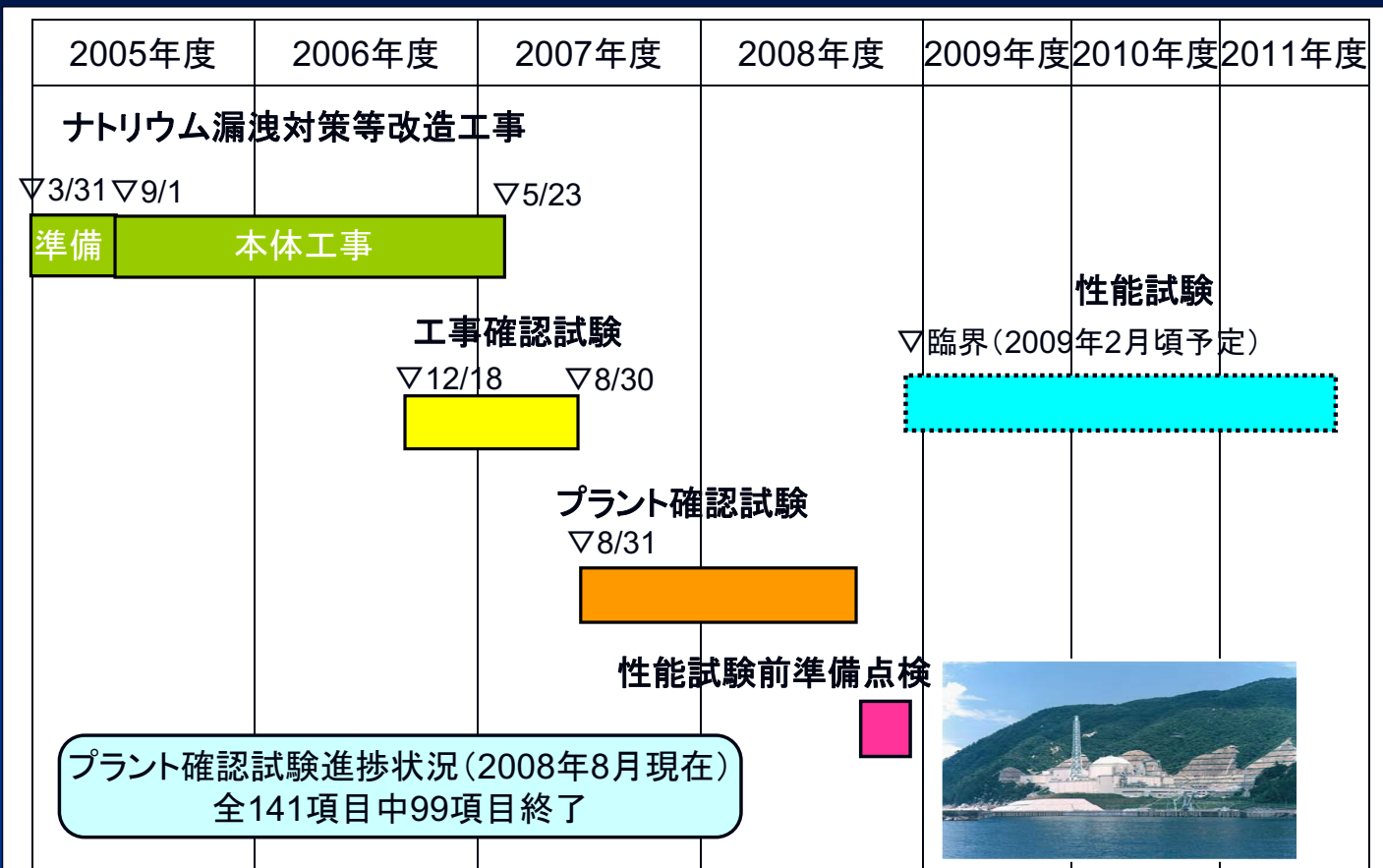


- 1983年 5月：原子炉設置許可
- 1985年10月：建設工事開始
- 1994年 4月：初臨界
- 1995年 8月：初送電
- 1995年10月：40%出力到達
- 1995年12月：ナトリウム漏えい事故
↓
- 安全性総点検
- 2002年12月：改造工事に係る原子炉設置変更許可
- 2005年 2月：地元より改造工事着手の了解を受領
- 2005年 9月：改造工事本格着工
- 2006年12月：工事確認試験開始
- 2007年 5月：改造工事終了
- 2007年 8月：工事確認試験終了、プラント確認試験開始
- 2008年8月末現在
プラント確認試験(141項目中99項目終了)

出典：高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、高速増殖原型炉(もんじゅ)の現状と実用化への役割、大阪、2007年11月



<運転再開に向けた「もんじゅ」の主要工程>

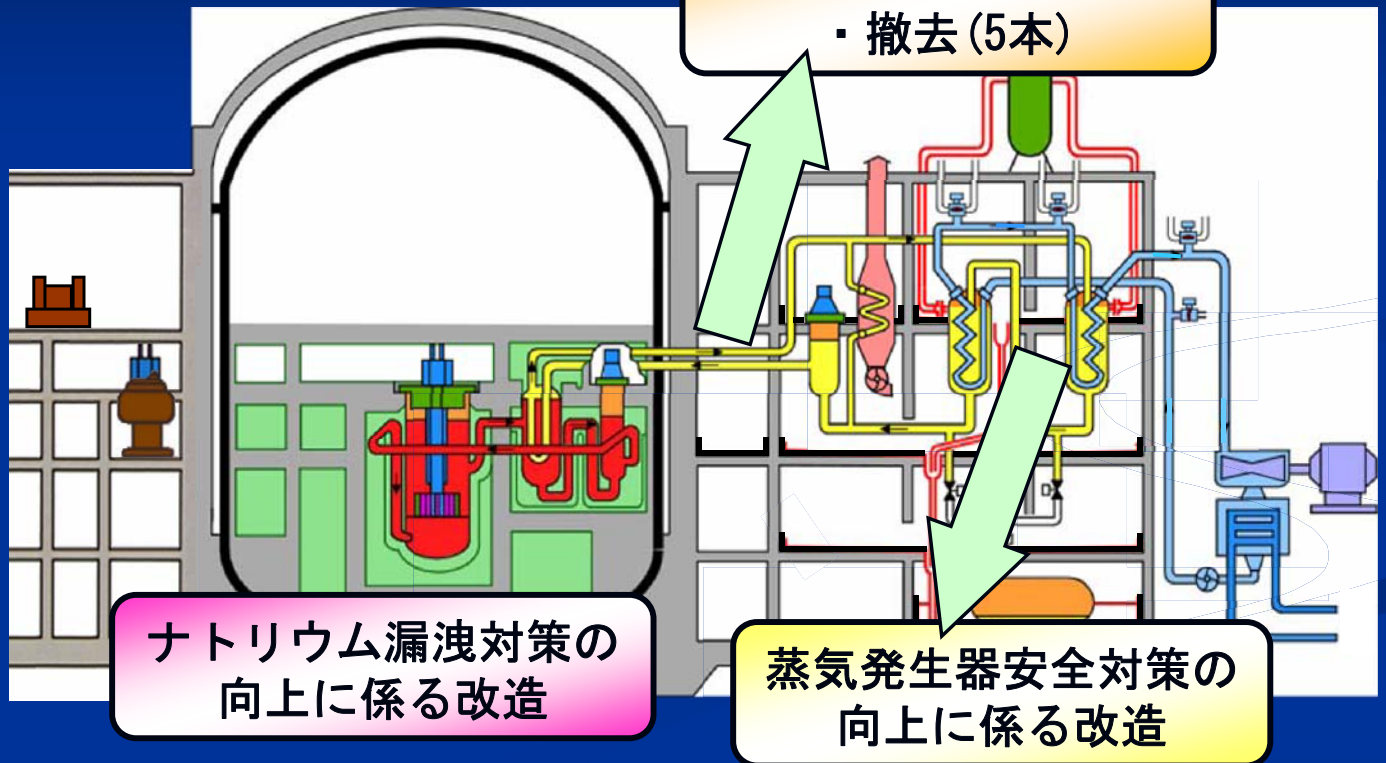


出典：高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、高速増殖原型炉(もんじゅ)の現状と実用化への役割、大阪、2007年11月



<「もんじゅ」改造工事の主な内容>

2007年5月本体改造工事を終了

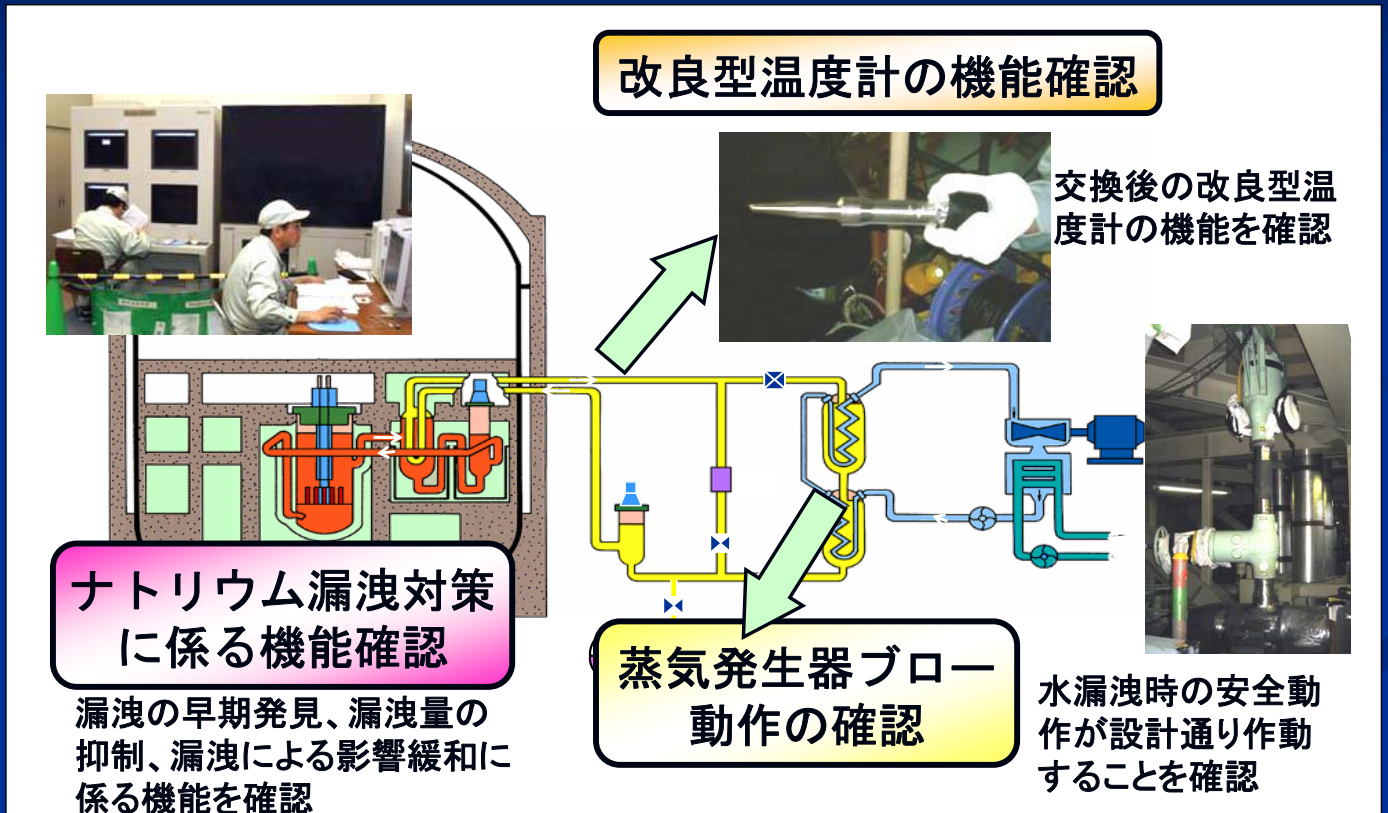


出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、高速増殖原型炉(もんじゅ)の現状と実用化への役割、大阪、2007年11月



<工事確認試験の主な内容>

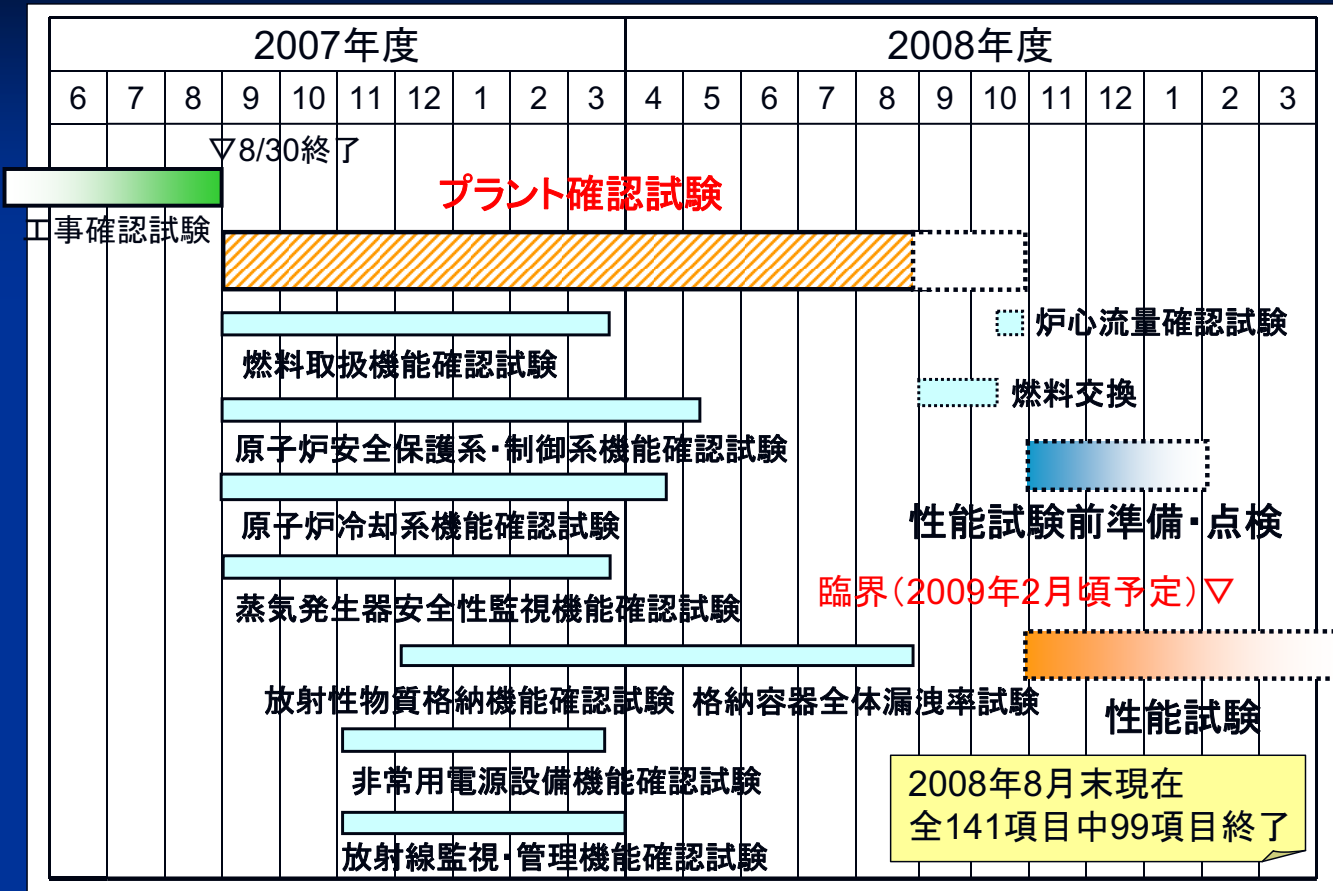
2007年8月工事確認試験を終了



出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、高速増殖原型炉(もんじゅ)の現状と実用化への役割、大阪、2007年11月



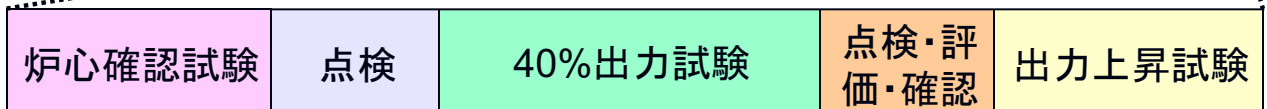
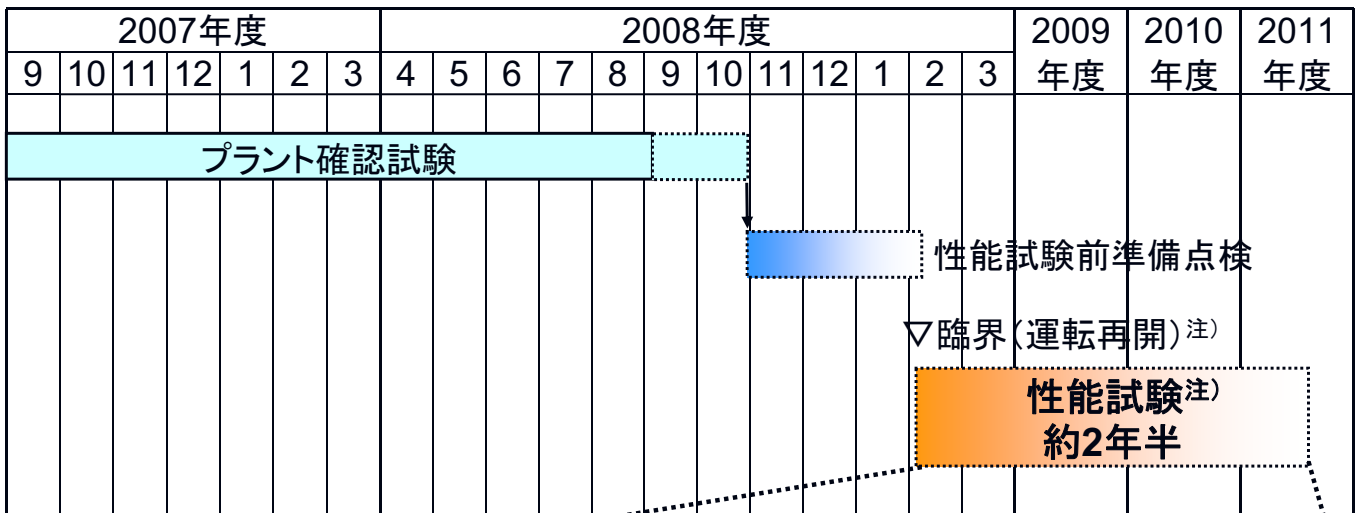
<プラント確認試験の主要工程>



出典：高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、高速増殖原型炉(もんじゅ)の現状と実用化への役割、大阪、2007年11月



<性能試験の主要工程>

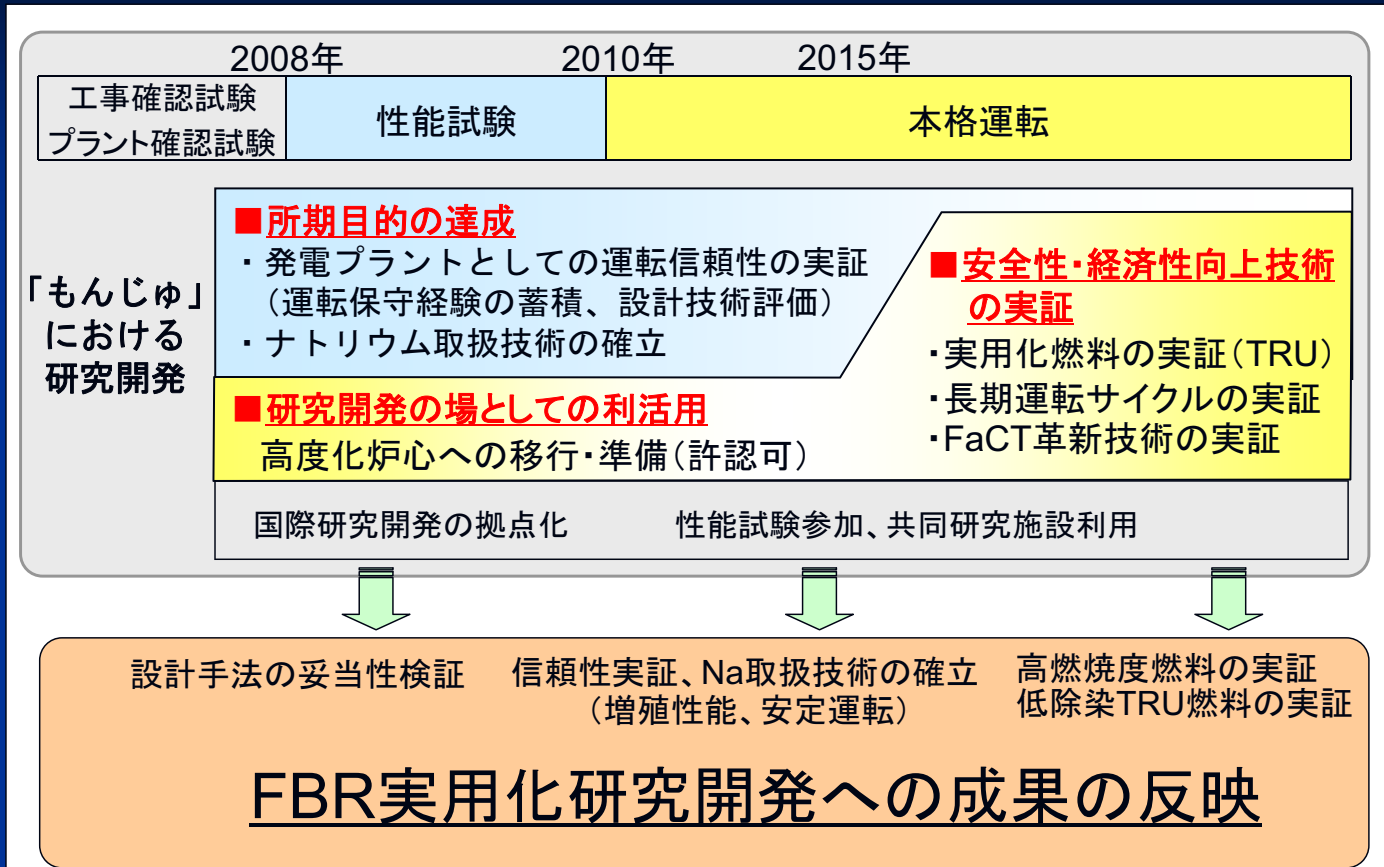


注)運転再開は地元の了解を得て実施

出典：高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、高速増殖原型炉(もんじゅ)の現状と実用化への役割、大阪、2007年11月



<「もんじゅ」における研究開発(運転再開後の使命)>



出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、高速増殖原型炉(もんじゅ)の現状と実用化への役割、大阪、2007年11月

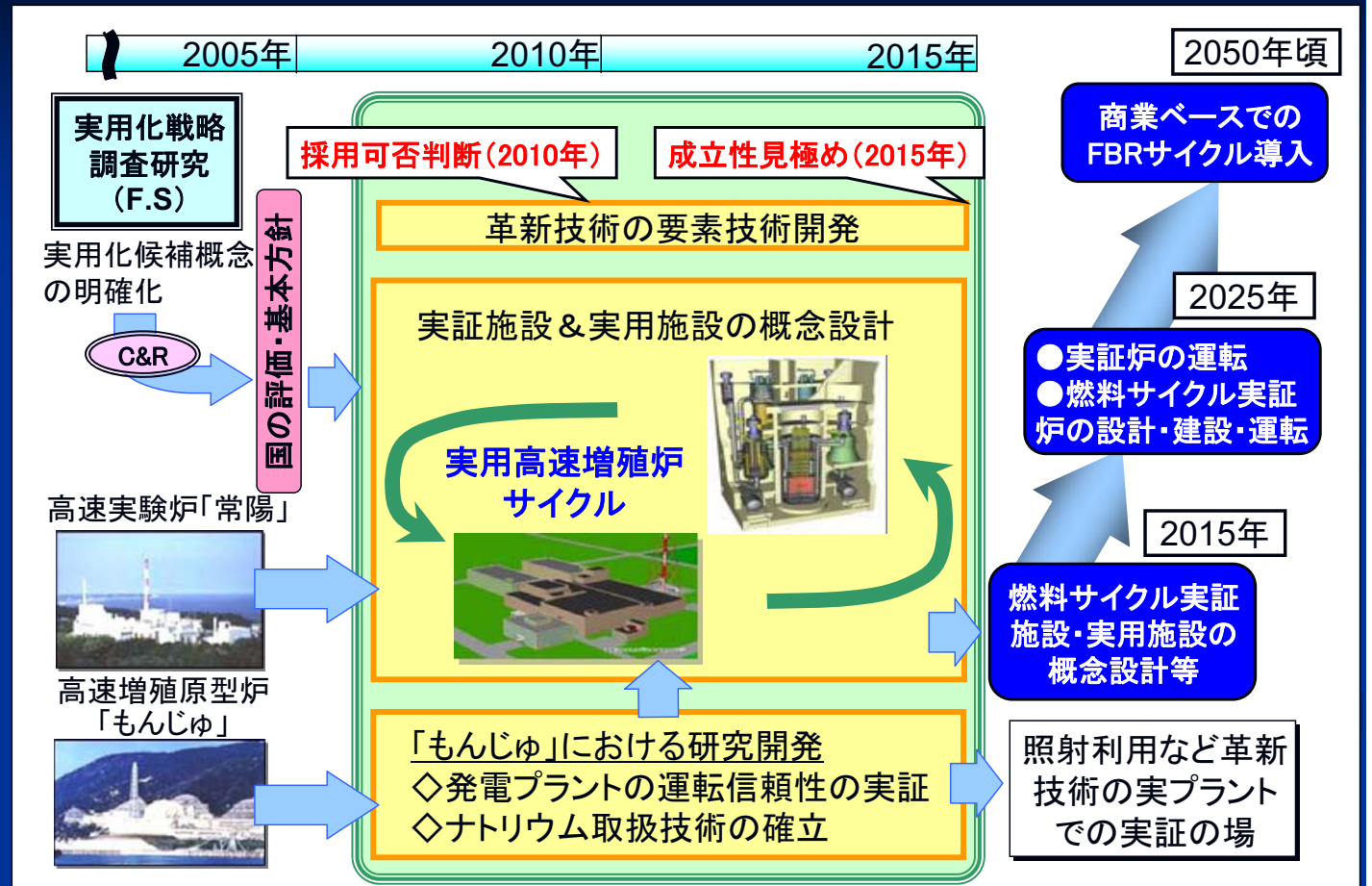


5. FBRサイクル実用化のための研究開発計画 (FaCTプロジェクト)

FaCT: Fast Reactor Cycle Technology Development Project



<FaCTプロジェクトの流れ>



出典：高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<「FBRサイクル実用化」候補の概念>

国の評価(実用化戦略調査研究(F.S))において「現在の知見で実現性が最も高いと考えられる概念」として選定された主概念



ナトリウム冷却型FBR

- 電気出力: 150万kW
- ◇ 増殖比: 1.03~1.10
- ◇ 燃焼度: 約15万MWd/t(炉心平均)

- ✓ 資源の有効利用性(増殖率の向上)
- ✓ 環境負荷低減性(低除染多重リサイクル可)
- ✓ 経済性の向上



再処理・燃料製造一体型施設

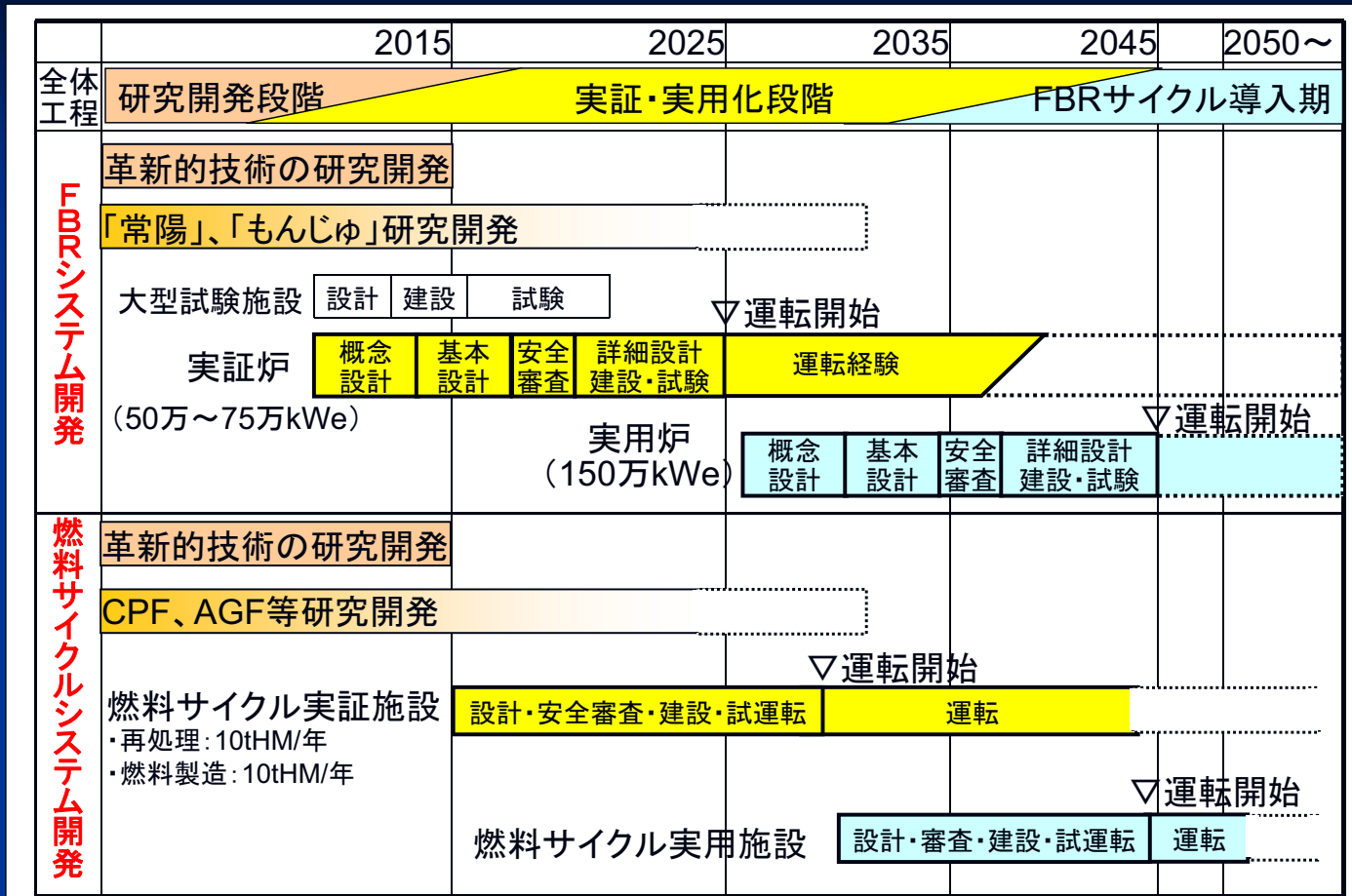
- 処理能力: 200tHM/年
- 先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造一体型施設

- ✓ 安全性、経済性の向上
- ✓ 環境負荷低減性(高レベル廃棄物量の減量)
- ✓ 核拡散抵抗性(Pu、U、Np共回収)

出典：高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<研究開発ロードマップ>



出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<ナトリウム冷却FBRの開発課題>

経済性に係る課題

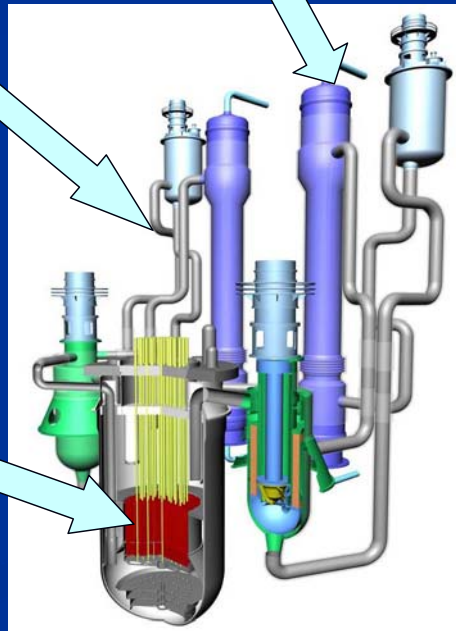
- 1) 建物容積・物量の削減
 - ◇高クロム鋼の開発
 - ◇ポンプ組込型IHXの開発 (他4項目の技術開発課題)
- 2) 高燃焼度化による長期運転サイクルの実現
 - ◇高性能燃料の開発

信頼性向上に係る課題

- 1) Na取扱技術の確立
 - ◇直管二重伝熱管SGの開発
 - ◇配管二重化技術の開発
 - ◇保守補修性を考慮したプラント設計

安全性向上に係る課題

- 1) 炉心安全性の向上
 - ◇自己作動型停止機構の開発
 - ◇再臨界回避技術の開発
- 2) 耐震性の向上
 - ◇大型炉心の耐震技術の開発

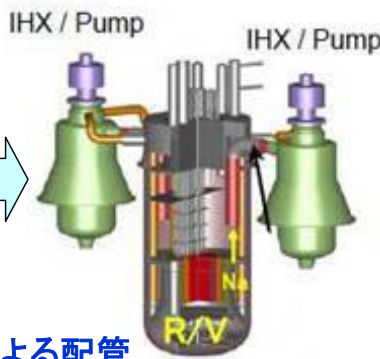
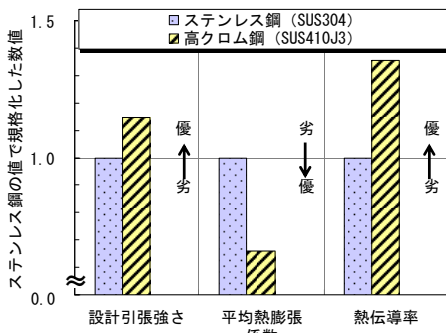


出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<革新的技術の採用>

《建物容積、物量の削減(例)》

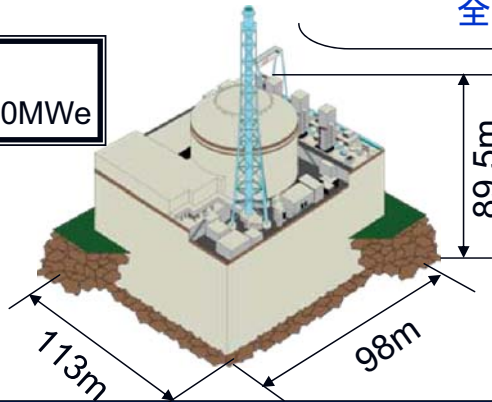


高クロム鋼採用による配管引き回しの短縮化

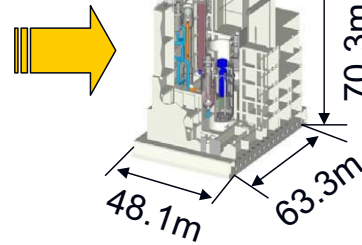
大型機器の合体(ポンプ組込型中間熱交換器(IHX))

全6項目の開発課題

もんじゅ
電気出: 280MWe



実用炉
電気出: 1,500MWe



出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月

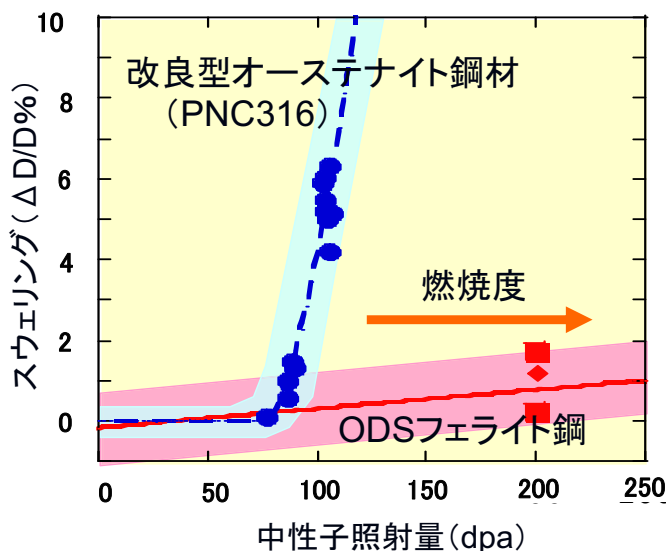


<革新的技術の採用>

《高性能燃料の開発(例)》

ロシア炉(BOR-60)においてODS鋼被覆管の先行照射試験を実施するとともに、「常陽」での確認試験を計画中

酸化分散強化型(ODS)鋼の耐スウェリング性



ロシア炉(BOR-60)でのODS鋼燃料ピン照射試験

出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<革新的技術の採用>

《炉心安全性向上のための革新的技術(例)》

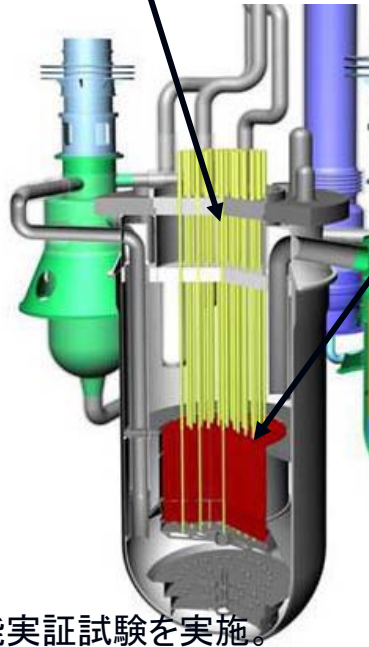
◆自己作動型炉停止機構(SASS)の開発

◆自然循環による受動的炉心冷却の確立(設計評価手法の確立)



自己作動型炉停止機構(SASS)

*「常陽」において機能実証試験を実施。



◆炉心損傷時の再臨界の回避
(内部ダクト付集合体の熔融燃料排出挙動の評価)



カザフスタン炉での炉心熔融試験(イーグル計画)

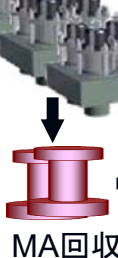
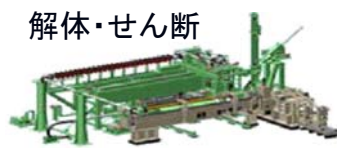
出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<核燃料サイクルシステムの開発課題>

《先進湿式法再処理》

《簡素化ペレット法燃料製造》



脱硝・転換



成型・焼結



組立



再処理システムに係る課題

- ◇U,Pu,Npを一括化回収する高効率抽出システムの開発
- ◇MA回収技術の開発
- ◇廃棄物低減化技術の開発
- ・
- ・
- など計6項目

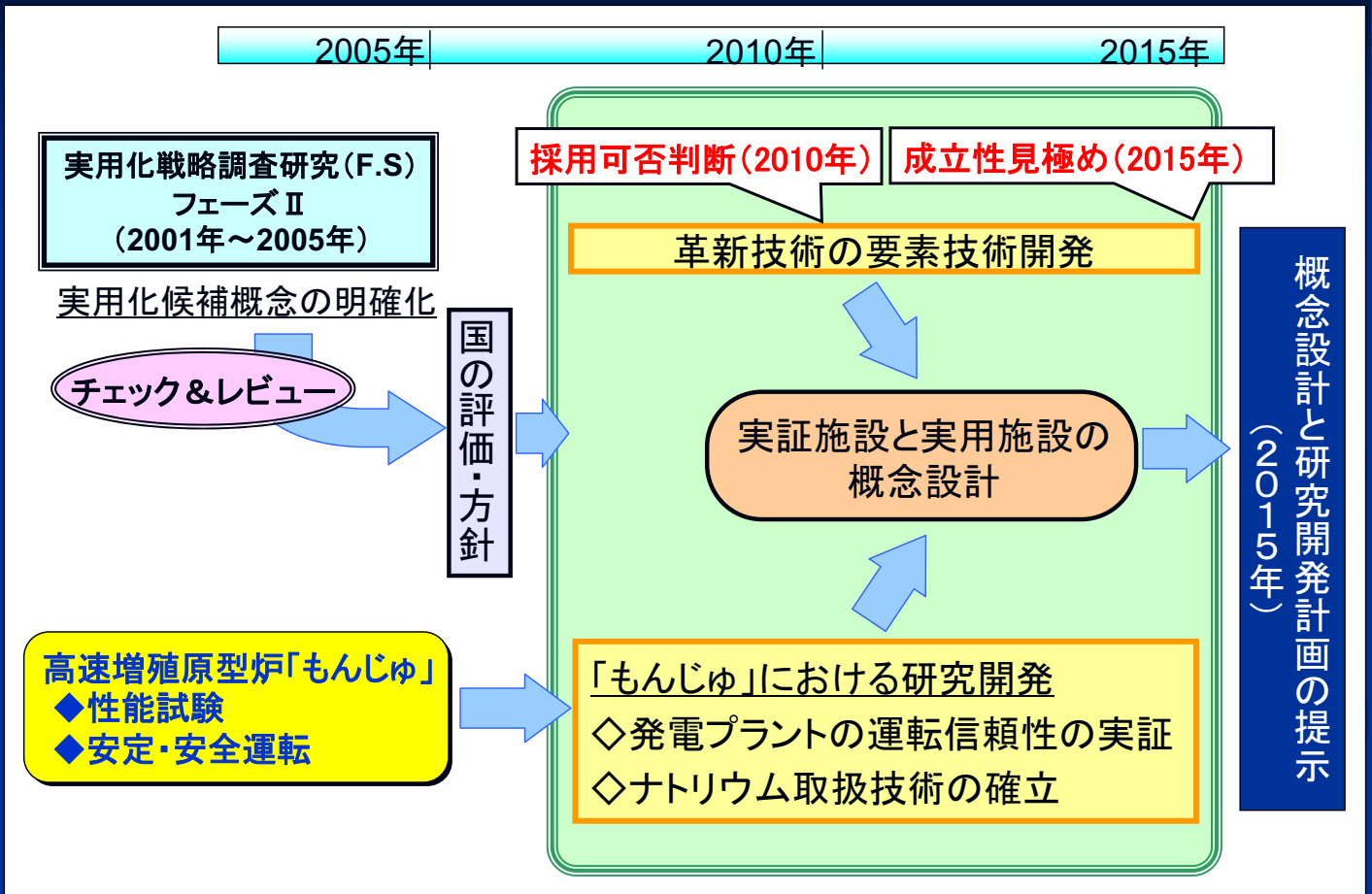
燃料製造システムに係る課題

- ◇脱硝・転換・製粒一元処理技術の開発
- ◇TRU燃料取扱技術
- ◇燃料基礎物性研究
- ・
- ・
- など計6項目

出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<FaCTプロジェクトと「もんじゅ」>



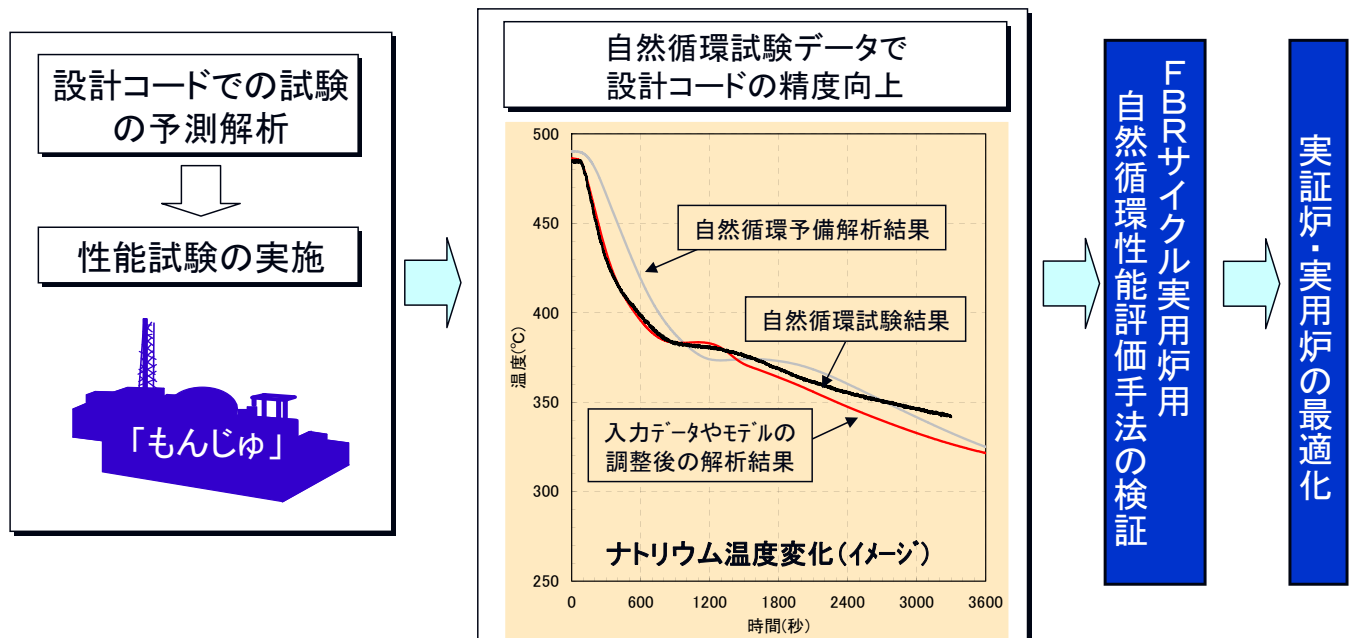
出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<「もんじゅ」性能試験のFaCTへの反映例(その1)>

自然循環による崩壊熱除去性能評価の検証

「もんじゅ」自然循環試験結果を用いて「もんじゅ」設計コードの精度向上・評価を通して得た知見を、**FBRサイクル実用炉の設計評価手法の整備・検証**に反映する。



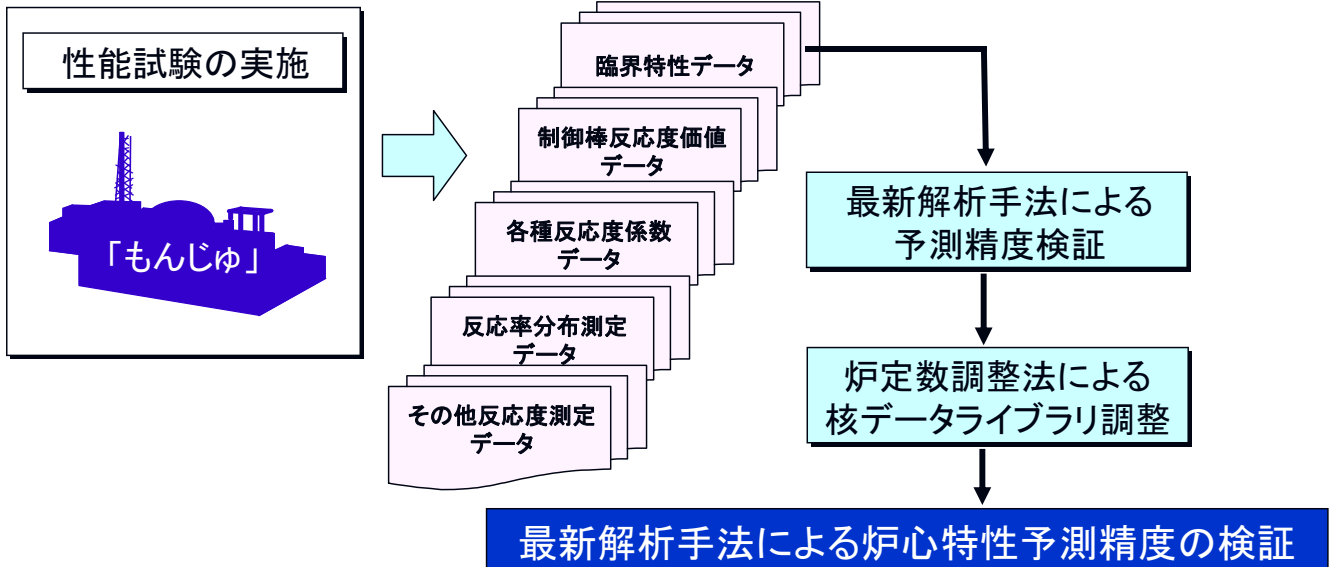
出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<「もんじゅ」性能試験のFaCTへの反映例(その2)>

炉心特性評価手法の検証

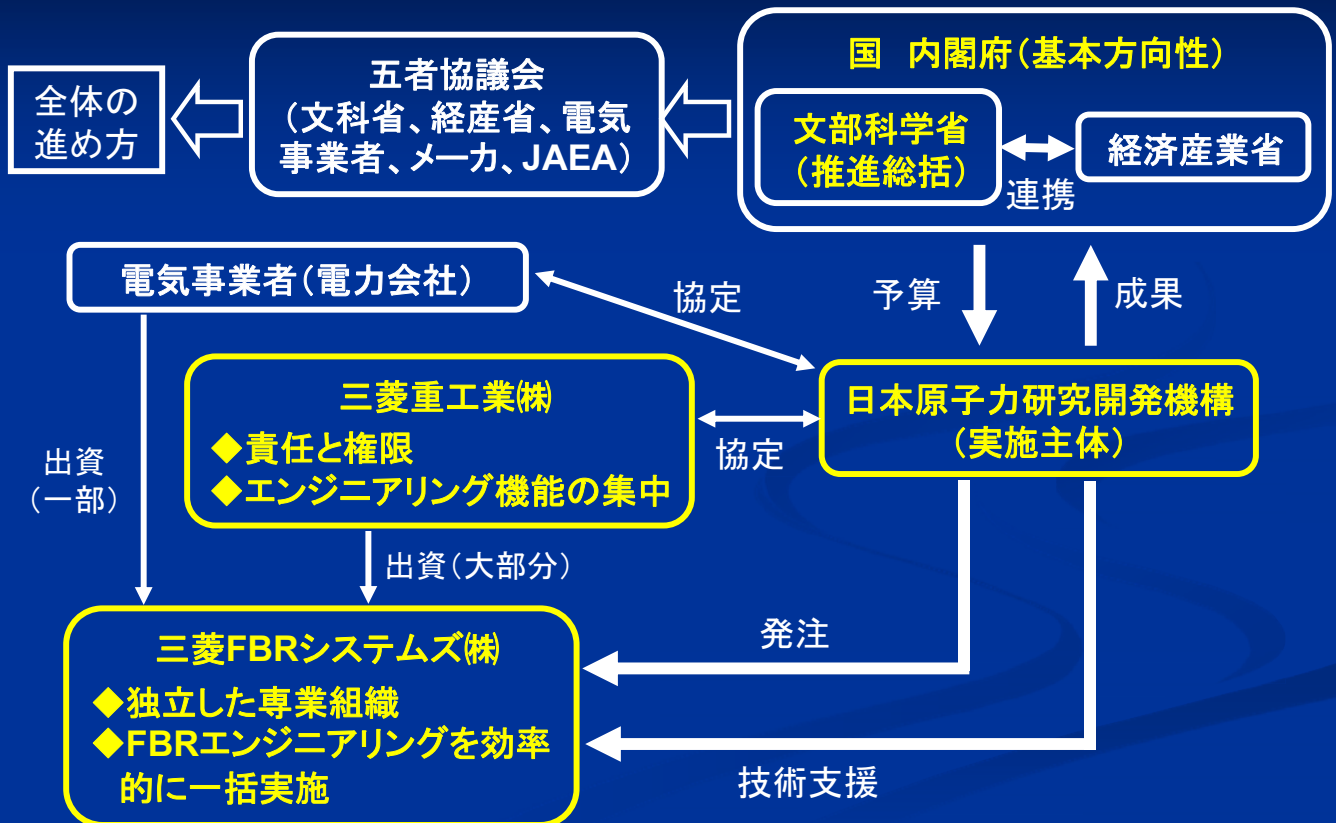
アメリシウム(Am)を含有する幅広いPu同位体組成比の炉心データやマイナーアクチニド(MA)燃料燃焼の評価用データを提供するとともに、「もんじゅ」性能試験データを利用して、FBRサイクル実用炉の炉心解析用核データライブラリ、炉心解析コードの検証を実施する。



出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



<FBRサイクル技術開発に係る研究開発体制>



出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月



6. FBRサイクル実用化に向けた国際協力



<国際協力の現状>



先進燃焼炉の開発構想 (GNEP計画)



2020年にGEN-IVプロトタイプ原子炉を運転開始予定



第4世代原子力システムに関する国際フォーラム (GIF)



革新的原子炉・燃料サイクルに関する国際プロジェクト (INPRO)

JAEA-DOE研究協力取決め (2007年4月)

- 先進原子力技術
- 量子ビーム技術
- 放射性廃棄物管理施設技術等

JAEA-CEAフレームワーク協定 (2005年12月)

- 設計研究
- 先進燃料開発
- 被覆管、構造材料開発
- JOYO、MONJU、PHX炉の運転経験交換、他

➢ 核燃料サイクル評価



日米共同行動計画

➢ GNEPに係る原子力研究開発協力

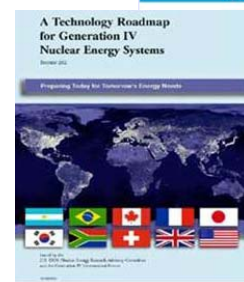
- ◆ 高速炉技術
- ◆ 燃料サイクル技術
- ◆ 保障措置と核物質防護
- ◆ 廃棄物管理、等



- 原子力発電所新設に係る政策協調
- 核燃料供給メカニズム構築等

SFRシステム取決め (2006年2月)

- 設計研究
- 先進燃料開発
- 機器開発
- GACIDプログラム、他





＜「もんじゅ」を利用した日米仏共同のFBR燃料実証試験＞

FBR実用炉用燃料として有力なマイナーアクチニド(MA)含有燃料(TRU燃料)を日米仏3カ国で共同して燃焼試験を実施する。

《3カ国の分担》

米 国 = MA原材料提供

仏 国 = MA燃料製造

日 本 = MA燃料照射
(Joyo & Monju)

GACIDの照射計画

■ステップ-1

Np/Am含有燃料ピン照射



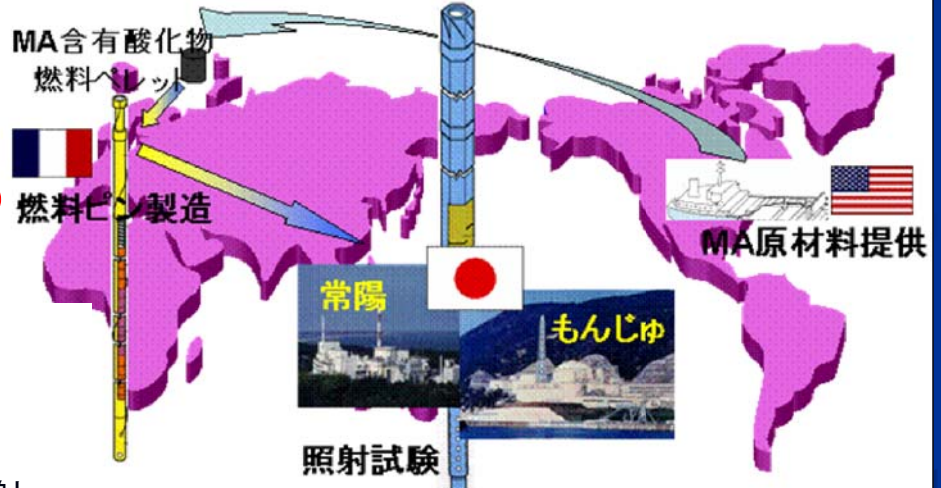
■ステップ-2

Np/Am/Cm含有燃料ピン照射



■ステップ-3

Np/Am/Cm含有燃料集合体照射



GACID: Global Actinide Cycle International Demonstration

出典: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 FaCTセミナー、FBRサイクル実用化に向けた原子力機構の取組、大阪、2007年11月

40



まとめ

- ウラン資源を少しでも有効活用するための軽水炉燃料サイクル(プルサーマル)の扉が漸く開かれようとしている。
- 国家基幹技術の一つとして指定された“FBRサイクル技術の確立”は、小資源国家である我が国にとって不可欠であり、そのための「FaCTプロジェクト」がスタートしている。
- 「もんじゅ」は「FaCTプロジェクト」の完遂に無くてはならない原子炉であり、試験データの提示はもとより運転経験の蓄積など、重要な役割を担っている。
- 2105年頃にFBRサイクル技術の成立性を見極めた後、我が国はナトリウム冷却型FBRの実証炉の運転を2025年頃に、また2045年頃には実用炉の運転開始を目指して開発を進めるが、これらは米国、仏国など各国と連携・協力しながら進めて行く。

41