

# 日本における高速炉の開発



日本原子力研究開発機構

FBRプラント工学研究センター長 兼 高速増殖炉研究開発センター副所長  
一宮 正和

# 目次

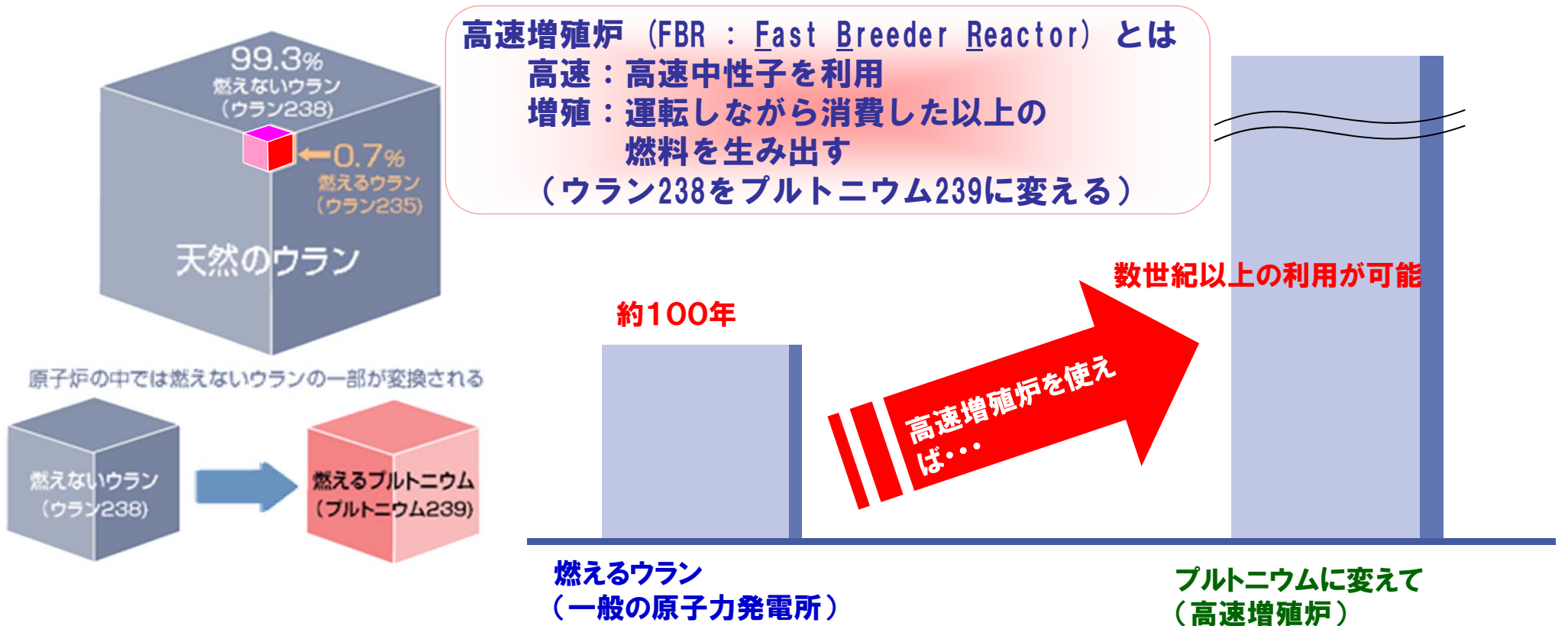
---

- I. 高速増殖炉開発の意義
- II. 高速増殖炉実用化と「もんじゅ」
- III. 「もんじゅ」を用いた国際協力
- IV. まとめ

# I. 高速増殖炉開発の意義

## ウラン資源の有効活用・エネルギーの安定確保

高速増殖炉技術は、発電しながら、核分裂しないウランから核分裂するプルトニウムを増殖する技術。限りある輸入ウラン資源に頼ることなく、準国産のエネルギー資源を数世紀以上にわたって確保できる ➡ **長期的かつ継続的なエネルギーの安定供給が可能で、資源小国の我が国にとって必須の国益となる技術**

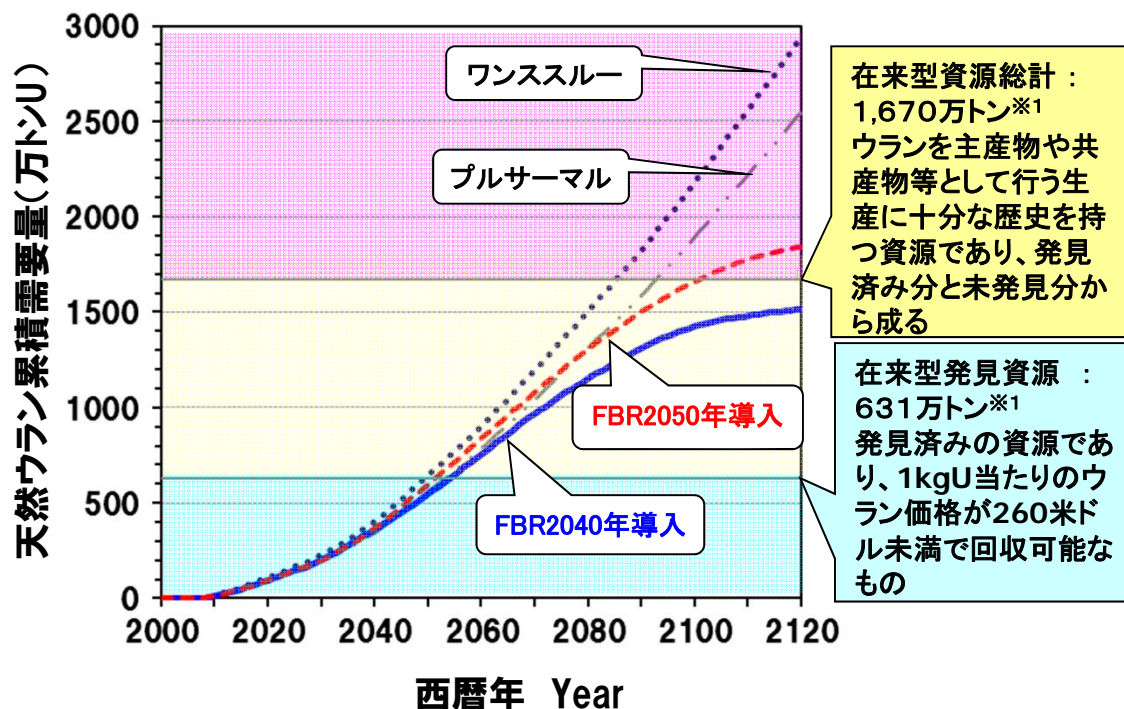


# 原子力発電の増加に伴うウラン供給の世界的見通し

- アジア地域(取り分け中国、インド)で、原子力利用の大幅拡大を目標としていることを考慮し、JAEA中位ケースを設定
- 国際的な資源獲得競争の中で、世界の原子力発電利用が伸びれば、21世紀末頃には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。



天然ウラン累積需要量の推移(FBR導入と軽水炉ワンズスルー)※2

※1 Uranium 2009,OECD/NEA-IAEA(2010):レッドブック2009

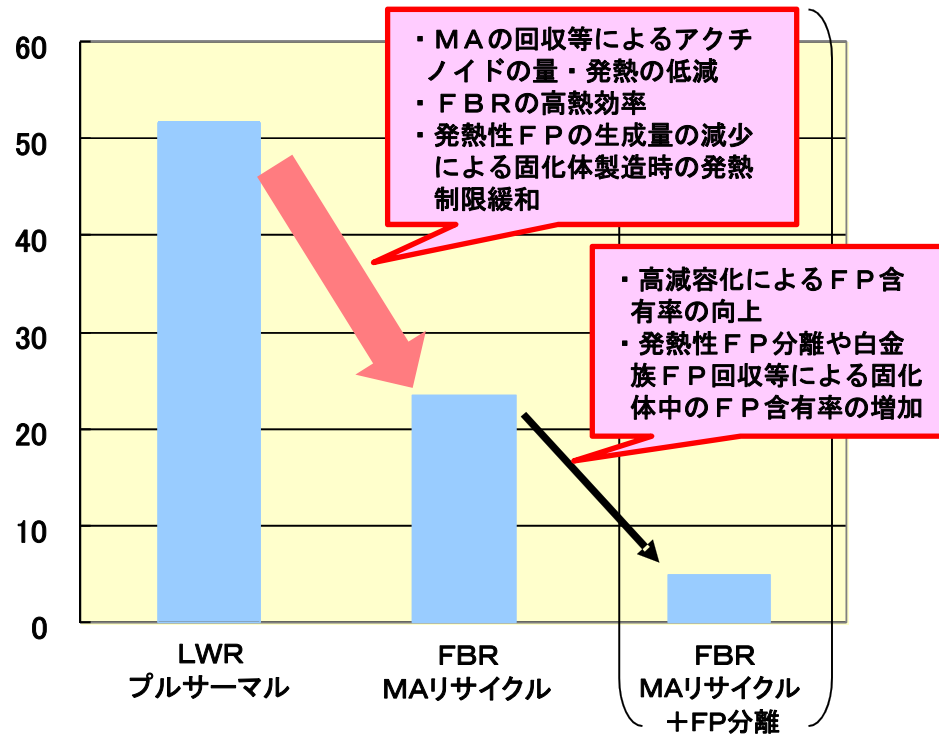
※2 日本原子力研究開発機構試算中位ケース

# 高速増殖炉による環境負荷低減への貢献

地球環境への負荷低減を目指して ➡ 原子力の持つ課題へも一つの光を

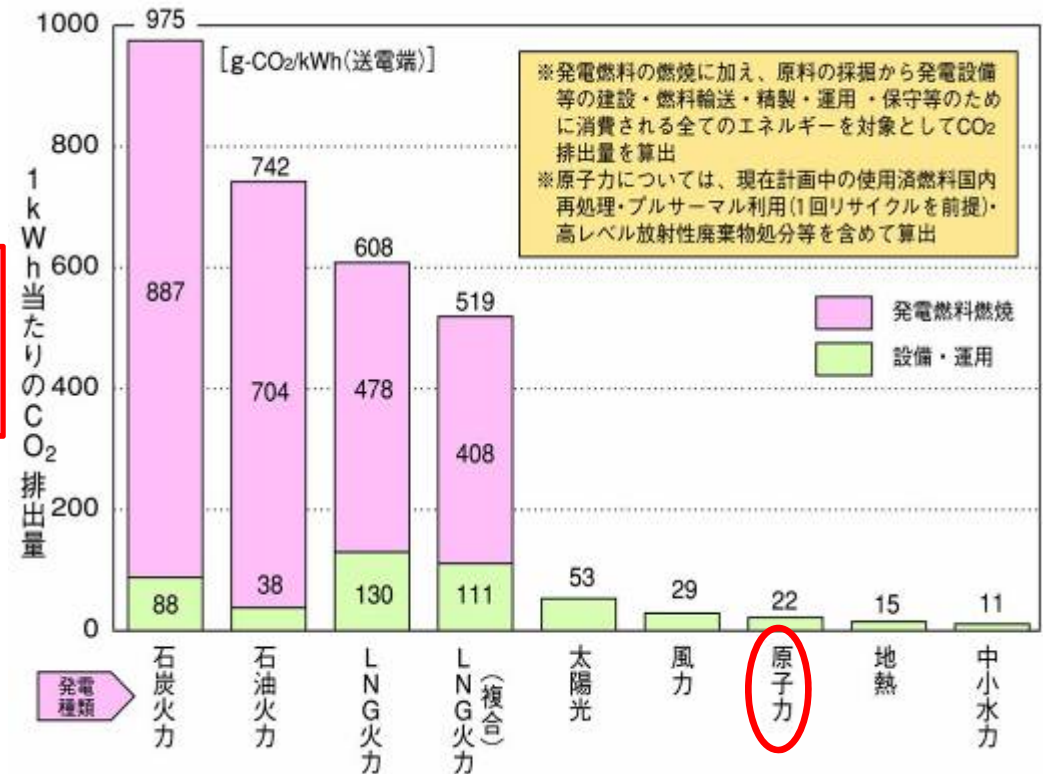
## 高レベル廃棄物による環境への負荷を低減

放射性物質を原子炉の中で効率良く燃焼できる可能性を秘めており、高レベル放射性廃棄物の管理負担を軽減。



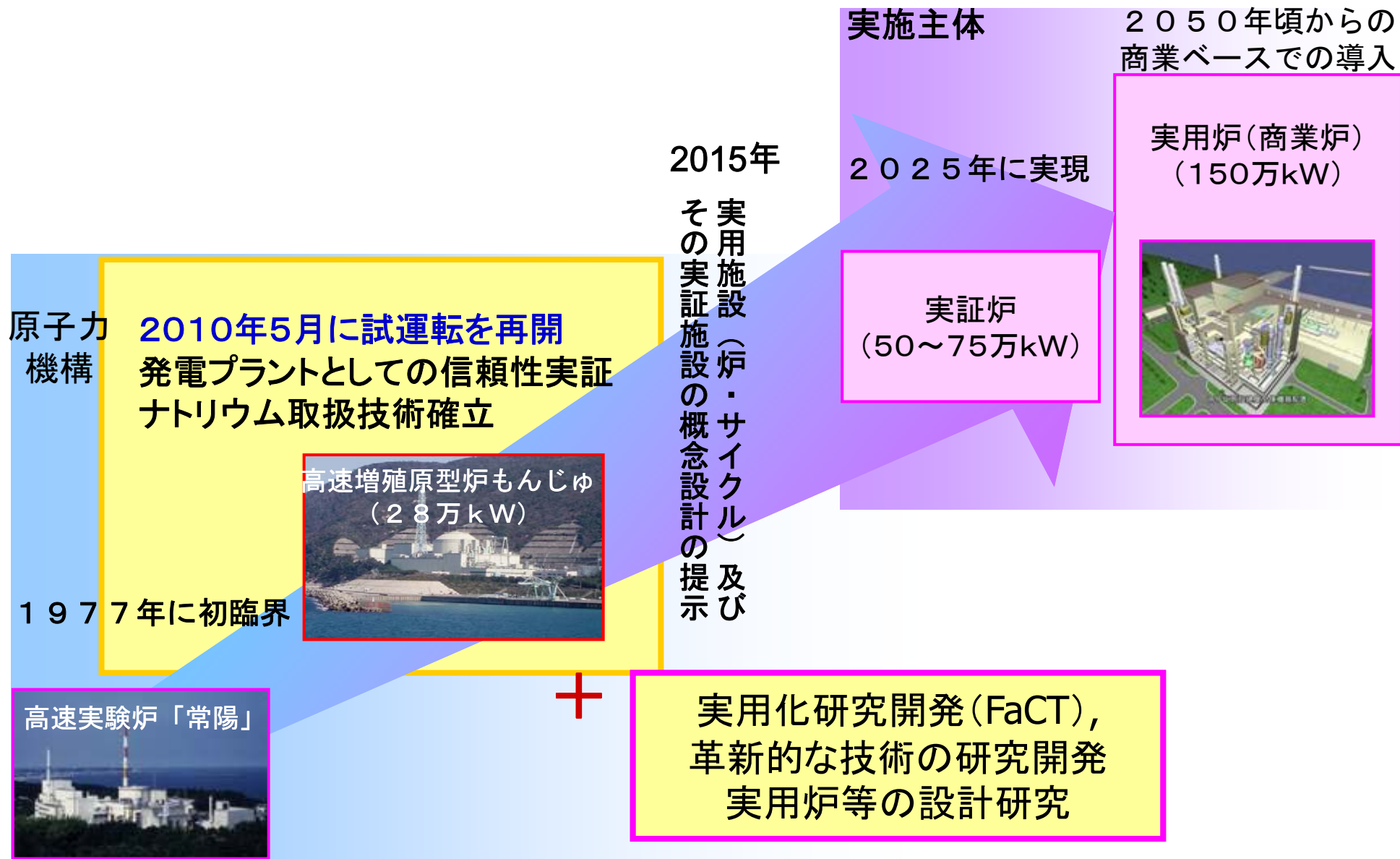
## CO<sub>2</sub>排出抑制への長期間の貢献

原子力発電は、他の発電方法と比べても、CO<sub>2</sub>排出量の少ない発電方法。その発電方法を長期間利用し、地球温暖化の抑制に長期間貢献。

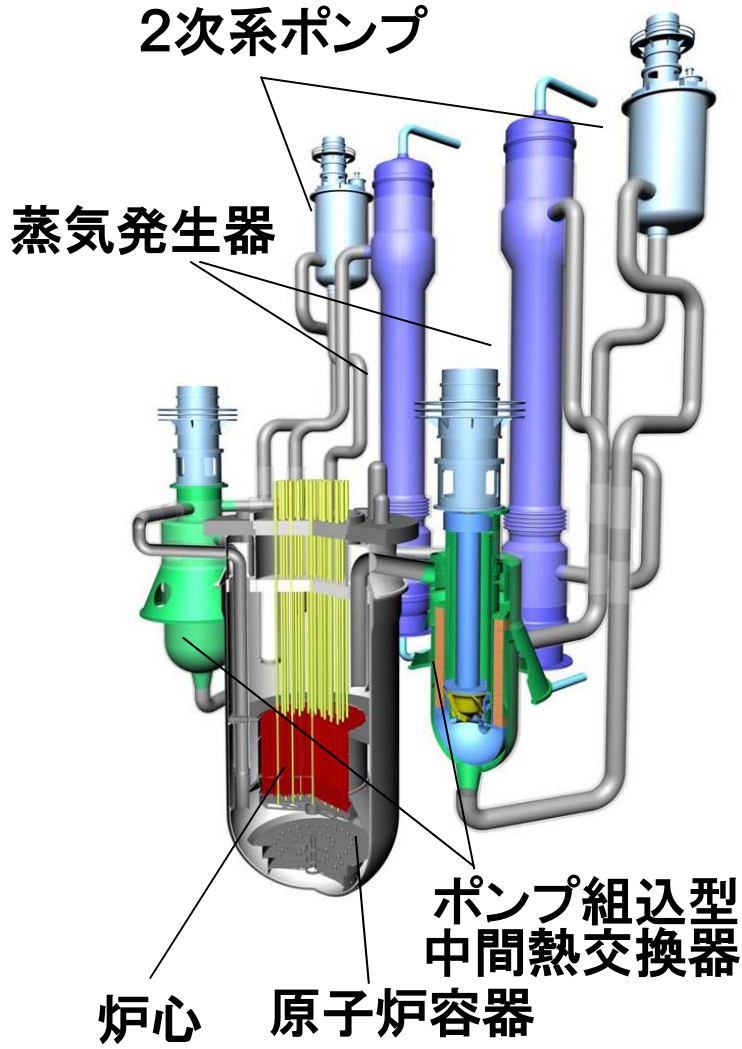


出典：電力中央研究所報告書他

# II. 高速増殖炉実用化と「もんじゅ」



# ナトリウム冷却高速炉 Japan Sodium-cooled Fast Reactor (JSFR)



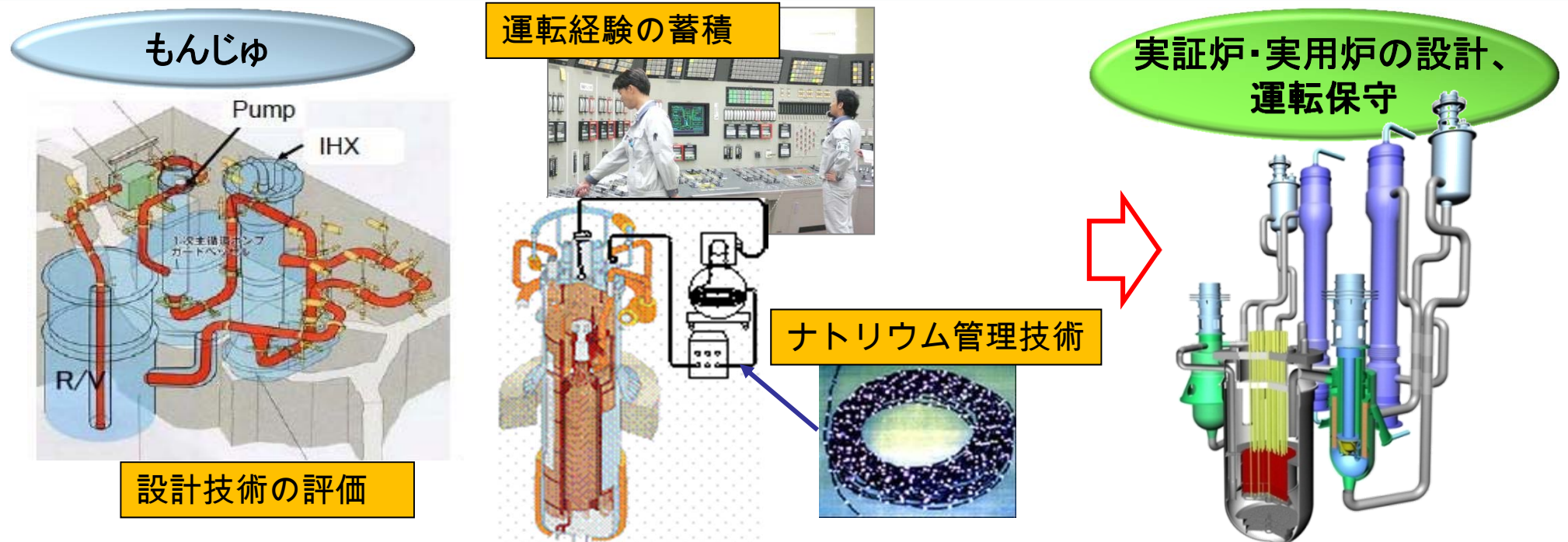
項目	仕様
熱出力/電気出力	3,530MWt / 1,500MWe
ループ数	2
1次系ナトリウム温度 (原子炉出入口)	550 / 395 °C
2次系ナトリウム温度 (中間熱交換器出入口)	520 / 335 °C
蒸気発生器の主蒸気温度と圧力	497 °C 18.7 MPa
給水温度	240°C
プラント熱効率	約42%
燃料	TRU-MOX
燃焼度	15万MWd/t (炉心平均)
増殖比	平衡炉心(1.03) ~ 1.2
運転サイクル長 燃料交換のバッチ数	18~26 ヶ月 4 バッチ

# 「もんじゅ」開発の意義

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故を踏まえても、  
世界においてエネルギー資源の確保・地球温暖化防止の課題は不変。  
⇒我が国は、海外に依存しない形での長期にわたる継続的なエネルギーの安定確保が必須。

高速増殖炉技術は、  
資源小国の我が国が、この課題を解決するための高い可能性を有する技術として、半世紀にわたり国策として官民を挙げて開発。

「もんじゅ」は、  
我が国の高速増殖炉実用化に向けた原型炉として、実証炉・実用炉の設計、運転保守に不可欠な技術情報を提供する重要な役割を有している。





# 「もんじゅ」の目指すもの

運 転 計 画	試運転	本格運転	
	性能試験（40%試験、出力上昇試験）	第1サイクル～第5サイクル運転	第6サイクル運転
プ ラ ント 状 況	初期増殖炉心		高燃焼度炉心（照射機能）
	試運転での調整/初期故障		ランダム故障 経年劣化による故障
主 要 な 成 果	全電源喪失時の安全性実証 （高速炉特有の自然循環による炉心冷却）	長寿命元素の燃焼実証 【マイナーアクチノイドの燃焼】 （高レベル廃棄物低減のための研究開発）	
そ の 他 の 成 果		【実用燃料の実証（高次化プルトニウム）】 （ウランの最大利用のための研究開発）	燃料の高燃焼度化 （軽水炉燃料の2～3倍を目標）
	高速増殖炉発電所としての原型を完成させる		
発電プラント信頼性実証	・100%出力での発電など性能確認 （発電システム成立性の確認）	・安定稼働の実証 （発電システム信頼性の実証）	・長期の本格運転による発電システム の経年特性確認
	・初期炉心の確認（臨界、炉物理特性等）	・増殖炉心の確認、増殖比の実証	
	・設備点検・故障対応経験を通じた保守管理技術の確立（保全プログラム等）		
トリウム取扱技術確立	・ループ型炉の検査技術の改良・高度化 （原子炉容器の検査など）	・ループ型炉の先進保守技術（検査技術等）の開発と確立	
国際協力人材育成	・海外研究員の試験参加		・日仏米による放射性廃棄物燃焼実証（GACID計画）

## 炉物理データの取得

### ◇ 炉心の特徴:3種類の燃料から構成

＜前回性能試験時に使用した燃料 + 長期保管した新燃料 + 新たに製造した燃料＞

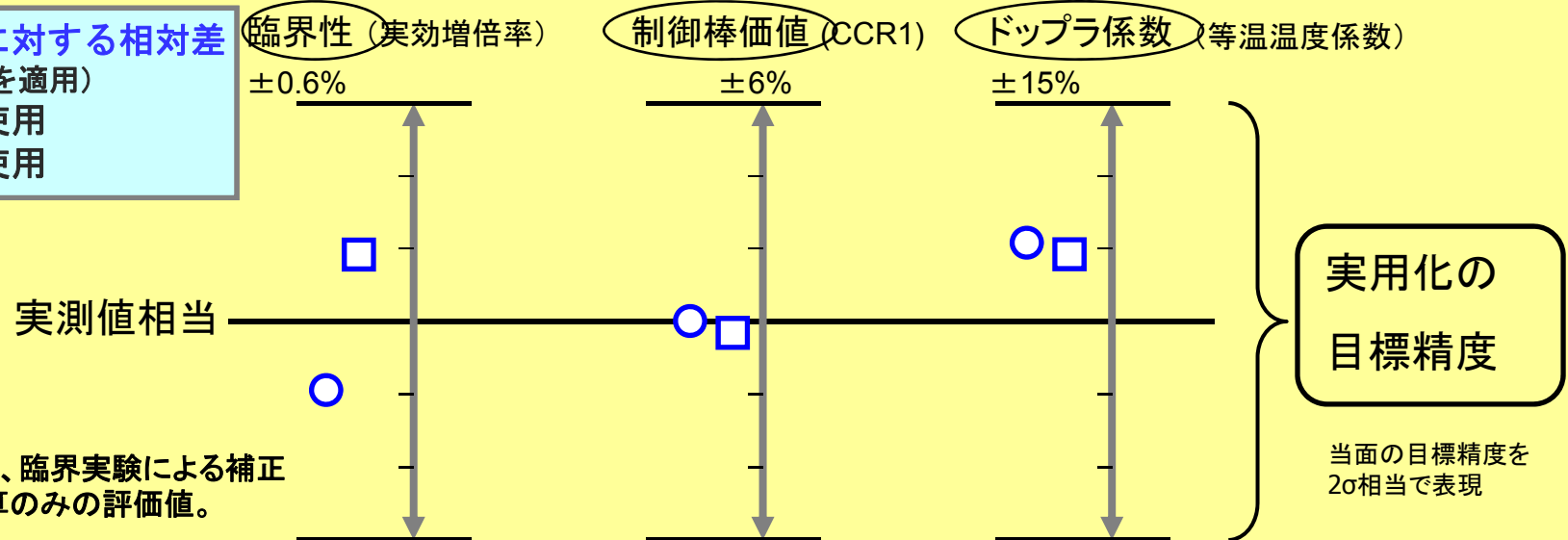
### ◇ 実用化を目指す高速炉の炉物理研究にとって世界的にも貴重な、 アメリシウム241を約1.5wt% を含有した炉心のデータを取得。

⇒ 原子力機構が、FBR実用化に向けて整備してきた炉心解析コードを、「炉心確認試験」に適用。  
「もんじゅ」を対象とした解析値と測定値との差は、実用化に向けた目標精度以内であることを確認。

### 解析値の実測値に対する相対差

(2種類の核データを適用)

- : JENDL-3.3使用
- : JENDL-4.0使用



注)

・本図の解析値は、臨界実験による補正を含まない、計算のみの評価値。

## データの活用と成果の公開

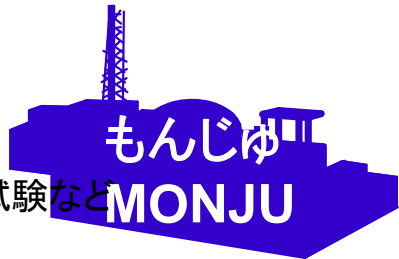
◇ 詳細評価を実施し、アメリシウム241等について最新の核データJENDL-4.0の有効性を実証。  
成果を国際会議で発表、学術誌に投稿。

# 今後の性能試験で得られる知見の例

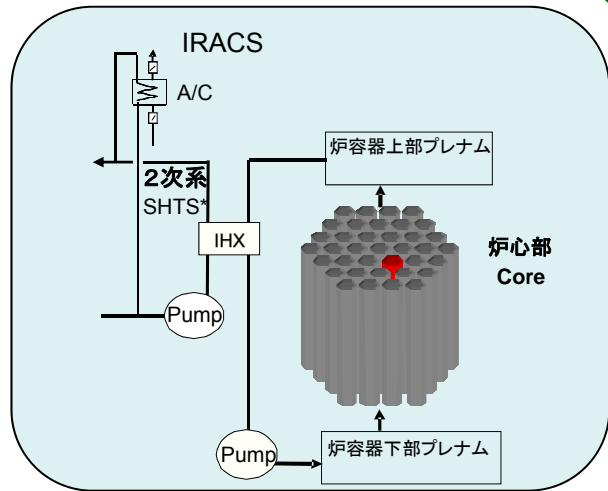
## －自然循環による崩壊熱除去評価手法の検証－

性能試験結果SSTs;

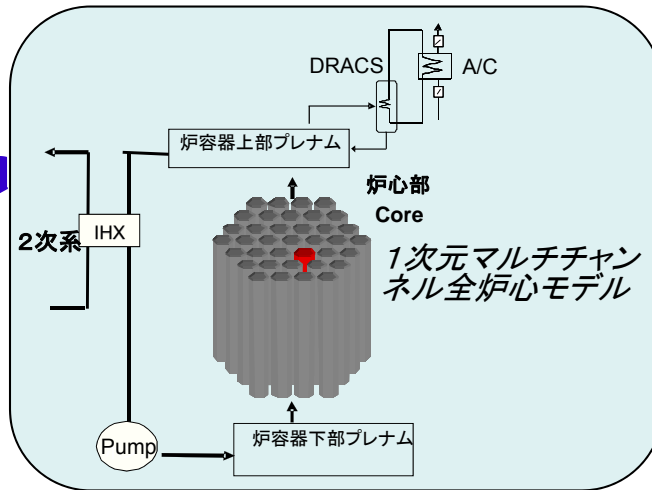
- 自然循環試験
- プラントトリップ特性試験など



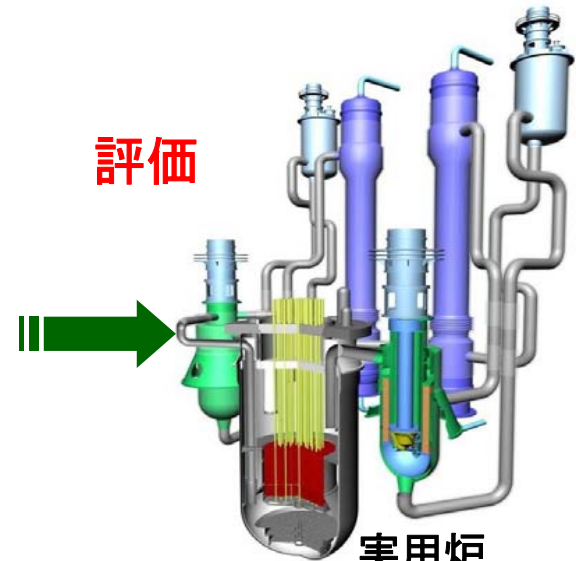
全炉心評価手法の検証



「もんじゅ」自然循環解析モデル



実証炉自然循環解析モデル



実用炉 JSFR

評価

### #「もんじゅ」自然循環試験の位置づけ

- 熱伝達特性の相似性を示す無次元数;

$$Pe_{Monju} \approx (4/5)Pe_{JSFR}$$

- 縮尺モデル試験による熱伝達特性検証の位置づけ;

$$Pe_W > Pe_{Monju} > Pe_{Na}$$

$Pe_W$ ; 1/10縮尺水試験、 $Pe_{Na}$  1/5縮尺ナトリウム試験

### III. 「もんじゅ」を用いた国際協力

---

- 2009年に西欧諸国で稼働可能な2基の原子炉のうち、フランスのフェニックス炉が停止した。残された西欧諸国の唯一の原型炉である「もんじゅ」への期待は大きい。
- 「もんじゅ」から、高速炉開発を目指す国にとって重要な原型炉データを積極的に世界に発信している。「もんじゅ」で得られる豊富かつ詳細なデータは、各種解析の世界標準問題となり、各国の設計・安全評価のための解析コードの検証に貢献している。
- 「もんじゅ」は、高速炉開発に必要な高速炉用燃料・材料の照射データを得るための「照射試験の場」として、そして、高速炉技術者、研究者の技術レベルの向上に必要な「教育訓練の場」として世界に貢献することができる。

# 「もんじゅ」を用いた国際協力の例(その1)

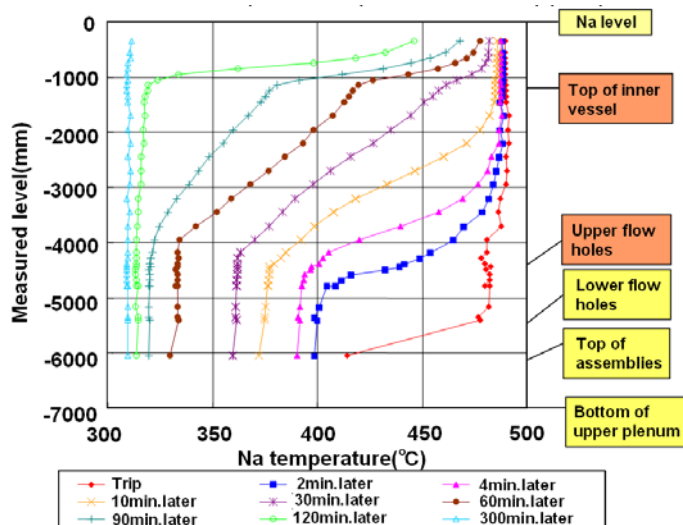
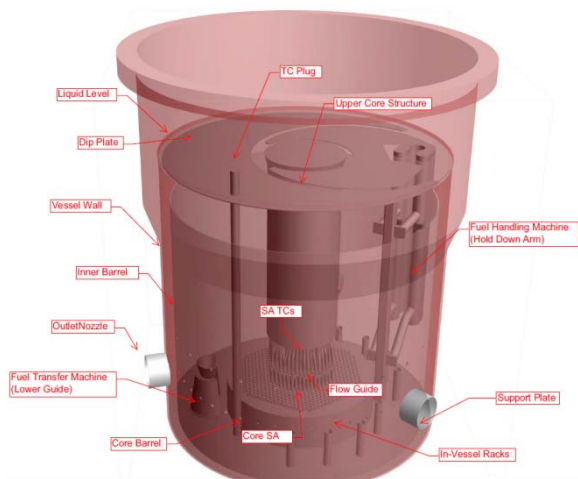
## — IAEA共同研究への参画 (1) —

【目的】: 様々な炉型のナトリウム冷却炉に共通の課題である、トリップ時の炉上部プレナムの温度成層化を正確に予測する解析技術の向上。

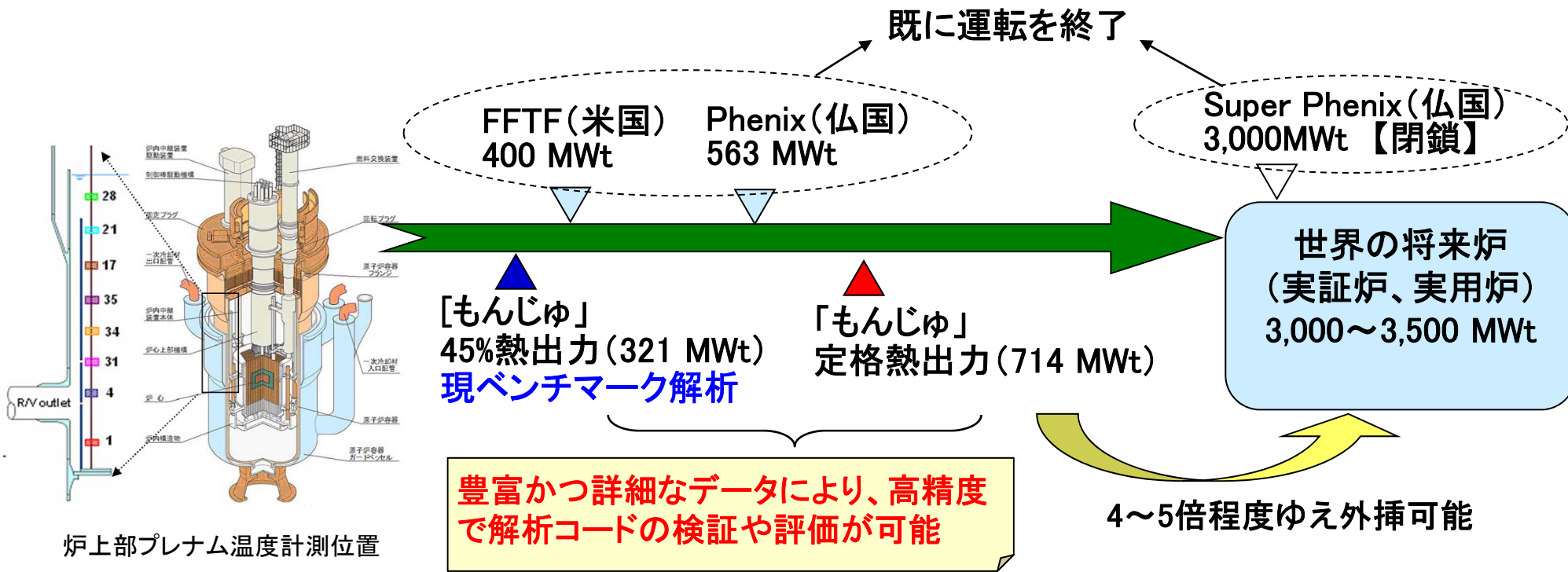
炉上部プレナム内の温度成層化データ取得(1995年12月40%運転状態からのタービントリップ試験)は実炉では世界初

### » 参加国(機関);

IAEA, 米国(ANL), 仏国(CEA), 露国(IPPE), 印度(IGCAR), 中国(CIAE), 韓国(KAERI), 日本(福井大, JAEA)



# 「もんじゅ」データを活用した高速炉国際熱流動ワークショップ (2012年4月19日 福井大学予定)



## 成果(予定)

- » 「もんじゅ」で実施した豊富かつ詳細な試験データは、高速炉熱流動解析の世界標準(ベンチマーク)解析問題となり、各国の高速炉の設計・安全評価のための解析コードの検証に貢献する。
- » 「もんじゅ」性能試験により得られる100%出力からの過渡変化データは、将来炉における高精度の温度成層化評価や構造評価を可能とする。

# 「もんじゅ」を用いた国際協力の例(その2)

- もんじゅの設計データを基に自国で開発した解析コードを確証する。
- 高速炉設計へ活用

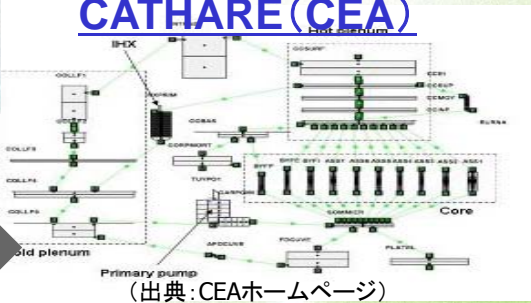
フランス(CEA)

韓国(KAERI)

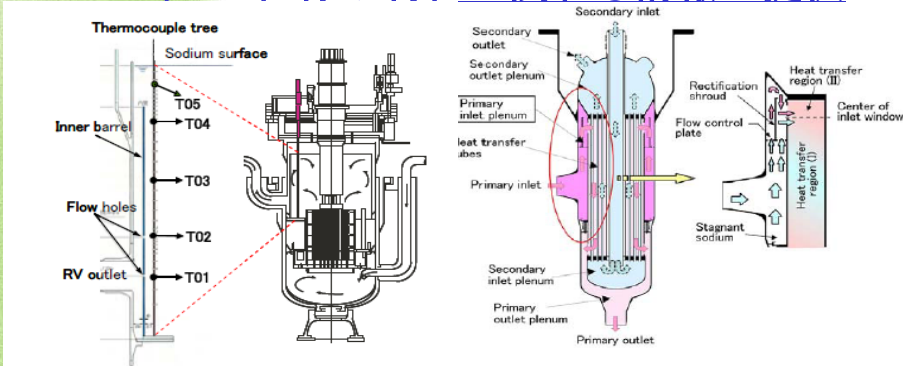


もんじゅ

## CATHARE(CEA)



## プラント仕様や特性に関わる情報の提供



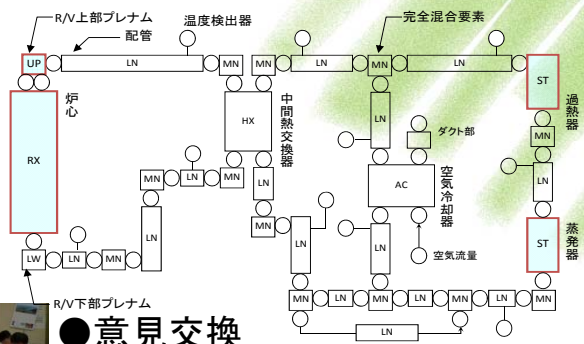
原子炉の構造

中間熱交換器の流動



Phénix

## Super-COPD(JAEA)

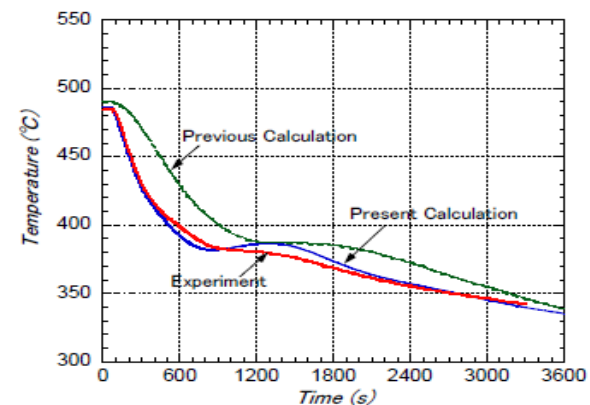


### ●意見交換

Phénixの35年間の運転経験の中で得られたデータを基に、もんじゅを再確認⇒もんじゅ運用に反映



## 試験結果の提供

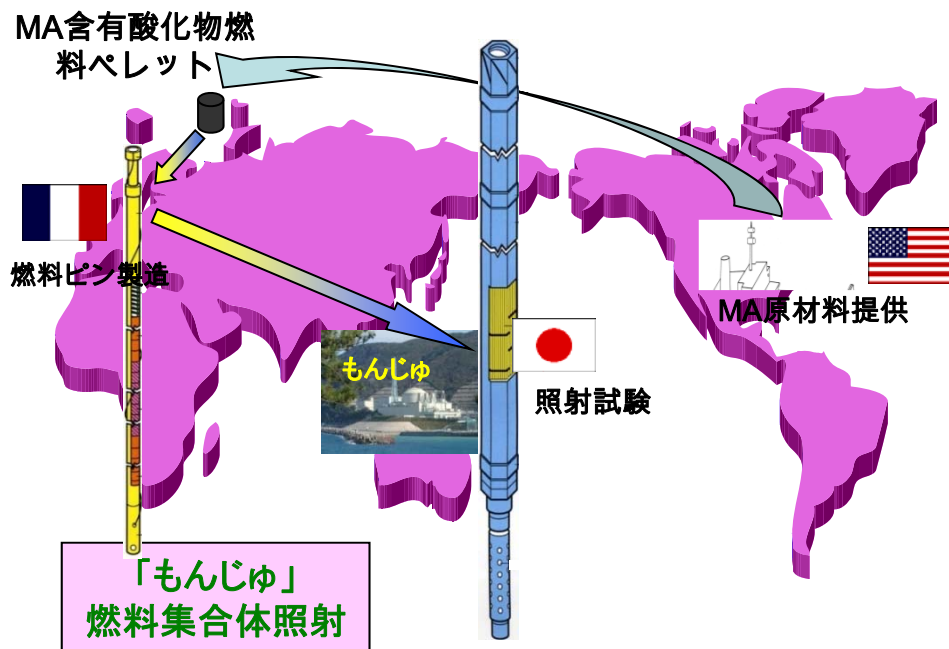


プラントトリップ時の原子炉容器出口温度変化

# 「もんじゅ」を用いた国際協力の例(その3)

「もんじゅ」を利用した「包括的アクチノイドサイクル国際実証」プロジェクト  
"Global Actinide Cycle International Demonstration (GACID) Project"

・目的  
高速増殖炉の実用炉用燃料として有力なマイナーアクチノイド(MA)含有燃料(TRU燃料とも言う)を、「もんじゅ」及び「常陽」を利用して実証

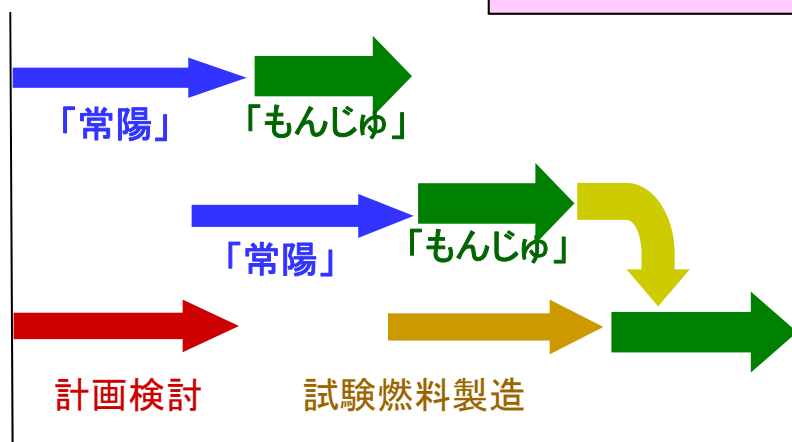


## GACID全体スケジュール

ステップ-1 Step-1  
Np/Am含有燃料のピン照射

ステップ2 Step-2  
Np/Am/Cm含有燃料のピン照射

ステップ-3 Step-3  
Np/Am/Cm含有燃料の集合体照射



- 高速増殖炉で燃焼させることによりMA全量リサイクルの可能性を実証
- 3ステップで段階的に実施
- GIF/ナトリウム冷却高速炉プロジェクトの一つ





# 米国の高速炉サイクル技術の開発戦略への貢献

## ブルーリボン委員会報告書（2012年1月26日）

- 米国核燃料サイクルのバックエンドを管理する新しい総合的な戦略。
- 重要な戦略要素として8点を勧告。

① ……………。

↳

⑥ ……………。

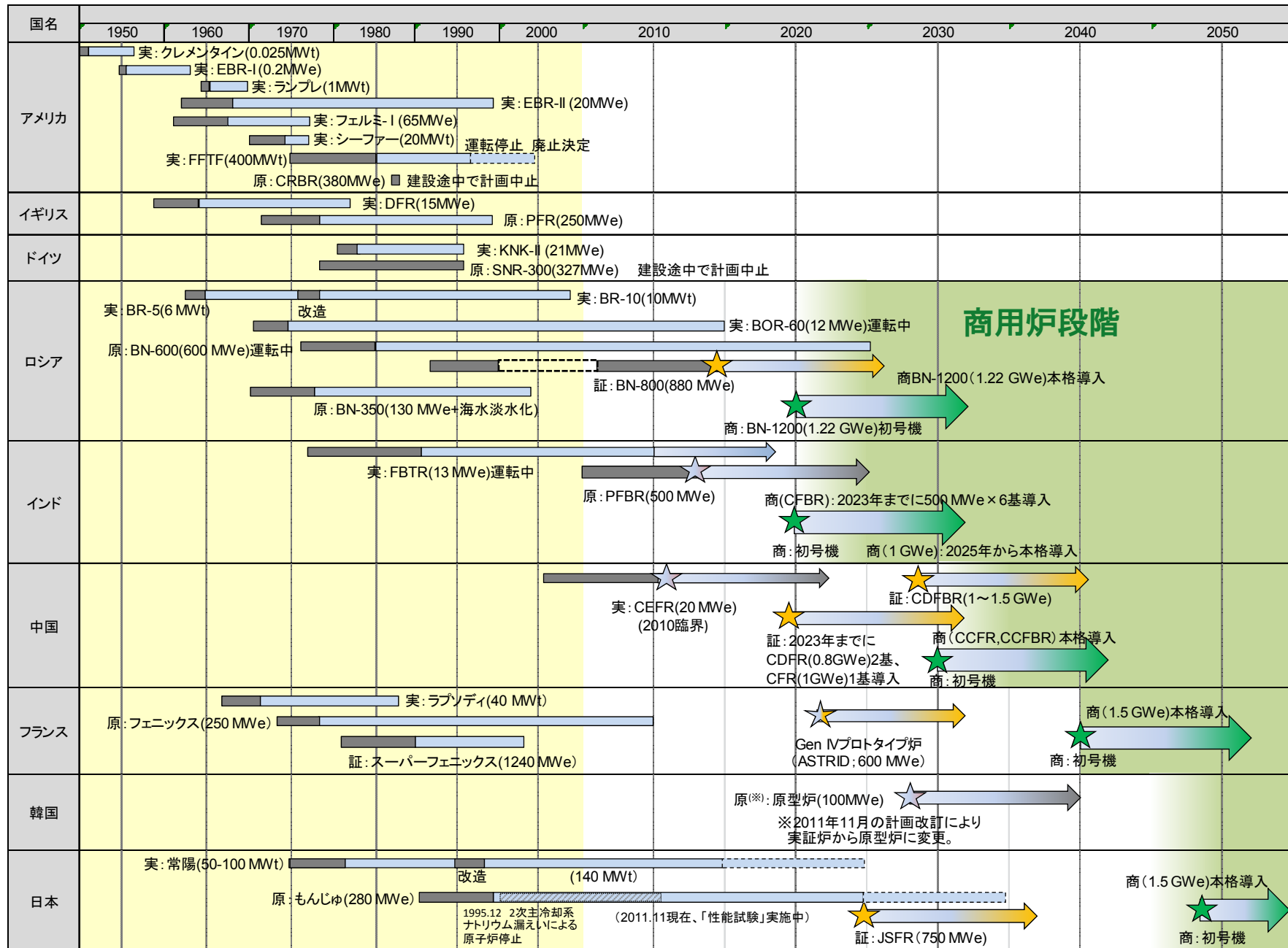
⑦ 先進的な原子炉と核燃料サイクル技術に関する研究開発・実証 (RD&D) 及び人材育成を継続的に支援すべき。

⑧ ……………。



もんじゅにおけるブルーリボン委員会  
(2010年2月11日)

# 世界の高速炉開発の歴史と今後の開発計画



## IV. まとめ

---

1. **東京電力(株)福島第一原子力発電所事故を踏まえても、エネルギー資源の確保・地球温暖化防止の課題は不変であり、長期にわたる継続的なエネルギーの安定確保が必須。**
2. **高速増殖炉は、長期的かつ継続的なエネルギーの安定供給が可能で、資源小国の我が国にとって必須の国益となる技術。**
3. **「もんじゅ」は我が国の高速増殖炉実用化に向けた原型炉として、実証炉・実用炉の設計、運転保守に不可欠な技術情報を提供する重要な役割を有している。**
4. **「もんじゅ」データは、各種解析の世界標準問題となり、各国の解析コードの検証に貢献している。更に、照射データを得るための「照射試験の場」として、そして、技術レベルの向上に必要な「教育訓練の場」として世界に貢献することができる。**