

「もんじゅ」の位置付けと研究開発の進め方

平成 12 年 2 月 15 日
核燃料サイクル開発機構
相澤 清人

1. はじめに

「もんじゅ」は、大洗工学センターにおける「常陽」及び各種ナトリウム試験施設による研究開発成果を基にして設計された大型の炉心とナトリウム機器をもつ、電気出力 28 万 kW の発電用 FBR プラントであり、ループ型炉、2 次冷却系配管分岐型崩壊熱除去系、より高度な高温構造設計基準に基づく設備、等の技術的特徴を有する。

高速増殖炉とその関連する核燃料サイクル（以下「FBR サイクル」と言う）の実用化を進める上で、発電炉である「もんじゅ」の設計、建設を通じて得られた知見や、今後の運転を通して得られる知見は、必要不可欠なものである。「もんじゅ」を活用し、高速増殖炉の合理的なプラント設計や運転・保守方法を追求することによって、発電プラント技術の確立を図ることが可能となる。

サイクル機構としては、地域社会のご理解とご協力を得ながら、安全確保を前提に、「もんじゅ」の運転を早期に再開し、ナトリウム取扱い技術を含む運転経験を蓄積し、発電プラントとしての主要な技術情報の収集・コスト低減策の検討等を進めることとしたい。

なお、平成 9 年 12 月にとりまとめられた高速増殖炉懇談会報告書において、『「もんじゅ」を使い、研究開発を続けることは必要』との結論が示され、『研究開発に当たっては、増殖特性の確認を含む燃料・炉心特性の確認、ナトリウム取扱い技術や高燃焼度燃料開発など原型炉としてのデータを着実に蓄積するとともに、マイナーアクチニド燃焼など新たな分野の研究開発に資するデータを幅広く蓄積すべき』としている。

2. FBR サイクル実用化に向けた「もんじゅ」の位置付け

- (1) FBR サイクルは、ウラン資源を有効に利用しつつエネルギーを再生産し、また、放射性廃棄物による環境負荷を低減できる可能性を有しており、その実用化は、我が国にとって重要な研究開発課題である。
- (2) この技術を実用化するには、概念検討・要素技術開発・設計研究等を行うだけでは不十分であり、プラントの運転・保守からの経験を基盤として、高度の信頼性・安定性等を備えた発電プラントとしての総合技術体系を確立する必要がある。また、軽水炉プラントの歴史からも明かな通り、技術の確立には長期に亘る運転経験の蓄積と技術改良の積み重ねが必要である。
- (3) この経験の蓄積と改良を行い技術を確認する場、つまり「発電プラント技術確立の場」が「もんじゅ」であり、以下の技術的特徴から、「もんじゅ」はその位置付けにふさわ

しい。

- (4) 「もんじゅ」は、わが国の FBR 研究開発成果の集大成であって、発電機能を有する総合的な原子力システムであることから、システム統合化の貴重な成果を得ることができる。これまでの大型機器の製作・据付の経験に加えて、各種トラブルの経験とその克服、ナトリウム取扱い経験、運転制御性やプラント保守性の確認、各系統（サブシステム）間の干渉の回避や最適化、等において世界的に貴重なデータを生み出し、21世紀を先導する原子力科学技術を創出する場を提供する。また、「もんじゅ」は、「常陽」や大洗工学センターでの試験装置に比べて、大型化された機器から構成されているため、そのスケールアップ効果の見極め、さらに、原子炉周りの放射線データ、ナトリウムや不純物の構造間隙部内での挙動、計測機器のバックグラウンドレベル等、運転中の複合的な実環境条件下でのデータ、実機ならではの知見を提供する。特に、「もんじゅ」の炉心は、我が国初めての大型の高速中性子炉心であり、高速中性子炉心のふるまいを明らかにすることは、FBR サイクルの実用化に向けて共通で必須の研究開発事項である。
- (5) 一方、将来においては、「もんじゅ」は、実用炉で要求される高い照射量や大型の燃料集合体の照射が可能である等、どのような燃料形態の高速増殖炉炉心燃料に関しても、「照射場」として重要な役割をもっている。さらに、実用化戦略調査研究で選択された有望技術について、「もんじゅ」に適用または改造して、「発電システムとしての信頼性確証の場」として、利用が可能である。従って、将来においては「技術実証の場」としても位置付けられる。
- (6) 以上から、「もんじゅ」を活用して FBR サイクルを実用化することを通して、人類の将来のエネルギー確保及び環境保全に、さらには21世紀における原子力科学技術の発展に貢献できる。

3. 研究開発の進め方

「もんじゅ」は、「発電プラント技術の確立」を最重点目標として、使用実績を積みながら運転信頼性を向上させていく。

また、経年特性の把握や運転データの蓄積等を行うため、発電プラント技術の成熟に向けた運転継続が必要であるとともに、実用化戦略調査研究の成果を踏まえて、経済性向上に寄与する技術や環境負荷低減技術を「もんじゅ」に適用または改造して、技術の信頼性を確証することが必要である。

但し、「もんじゅ」のような大型プロジェクトについては、燃料サイクル全体の研究開発との整合性を確認したり、内外の研究動向に照らしてその妥当性を確認しながら、研究開発投資とその効果についての総括的な評価を受けることが重要である。従って、サイクル機構としては定期的な研究開発課題評価を受けるだけでなく、計画の節目には原子力委員会による評価を受け、運転計画の適切化を図っていくものとする。

「もんじゅ」は、F B R サイクル実用化に向けた研究開発の場として、情報の公開に努め

るとともに、内外の研究者に対して広く公開していく。

3.1 第1期：発電プラントとしての技術実証

ナトリウム取扱い技術等の発電プラントとしての経験を積み、その運転実績に基づき、運転信頼性の確立、発電プラントとしての主要技術の実証を行うとともに、将来の FBR 開発に利用できる汎用性のある技術体系へのとりまとめ及び技術改良（高度化）を積み重ねる。

（表1参照）

(1) 運転信頼性の確立

ナトリウム漏えい事故の反省を踏まえた安全確保策（ナトリウム取扱い設備を中心とした改善、運転手順書改訂、品質保証活動充実、教育訓練の強化）や意識改革等の徹底を図りつつ、以下の経験を蓄積して、運転信頼性の確立を目指す。

- ① トラブル・不具合の克服及び機器の補修を通じ、運転・保守方法を改善し、高度の信頼性・安定性を有するプラントを実現する。
- ② ナトリウム不純物管理・処理やナトリウム機器の取扱い等に習熟し、トラブルの未然防止を図る。
- ③ 異常診断技術・ISI 等における改良を行う。機器の検査や工程管理の経験を蓄積して、保守マニュアル・各種基準類の整備を図る。

(2) 発電プラントとしての主要技術の実証並びに汎用性のある技術体系へのとりまとめ・改良

① 高速中性子炉心としてのデータ

- ◎ FBR の主要特性である増殖性能の確認（予備的評価値として増殖比 1.18 を確認して公表済み）、
- ◎ 臨界特性、反応度特性、出力分布特性等の評価手法（核データ、計算コード、評価条件の設定等）の実証・高度化、
- ◎ 高次化プルトニウム炉心に関する特性の確認、 等

② 発電機能を有する総合システムとしてのデータ

- ◎ 発電効率や出力変更時におけるプラント運転制御性の確認、
- ◎ 水/蒸気系を含むプラント熱過渡特性等の評価手法の実証・高度化、
- ◎ インターロック試験等によるサブシステム間干渉回避の確認、 等

③ 実環境下（複合的環境条件・複雑な体系）のデータ

- ◎ 燃料/燃料集合体/制御棒の照射時健全性・燃焼度等の確認、
- ◎ 破損燃料検出系、蒸気発生器水漏えい検出系等のバックグラウンドデータの確認、
- ◎ 原子炉周り、一次冷却系等の遮蔽設計の実証・高度化、 等

④ 大型化された機器等のデータ

- ◎ 蒸気発生器、ポンプ等の冷却系機器に関する運転性能・過渡特性・健全性の確認、

- ◎原子炉プレナム内温度成層化の現象確認と評価手法の実証、
- ◎ナトリウムミスト挙動等の確認、 等

3.2 その後の研究開発の展開

(1) 経済性向上に寄与する技術の確証

運転信頼性をさらに高める「発電プラント技術の成熟」を目指すとともに、第1期で得られた成果を基に、燃料の高燃焼度化、炉心に照射スペースの確保等を行い、「もんじゅ」運転コストの低減と性能の向上を図りながら、実用化戦略調査研究により選択された有望技術で機器・設備規模での確証が必要な技術については、「もんじゅ」に適用・改造して、実用化の見通しを確認する。

① 運転・保守に係るコストの低減

- ◎燃料の高燃焼度化による燃料費等の低減化、
- ◎点検保守の頻度・範囲等の見直すによるコストの削減、 等

② 炉心の高度化、集合体規模の燃料開発

- ◎燃料サイクルコスト低減燃料（例えば、低D F ーバイパック燃料）及び TRU、LLFP 入り燃料の集合体レベルでの照射試験、
- ◎SASS（Self Actuated Shutdown System：自己作動型炉停止系）や GEM（Gas Expansion Module：ガス膨張機構）、等

③ 実用化戦略調査研究で選択される技術の確証

- ◎例えば、革新型蒸気発生器等の簡素化冷却系、高度化燃料取扱系等の実用化戦略調査研究で選択される技術について、「もんじゅ」に適用し、実用化の見通しを確認する。

(2) FBR 実用化技術の確証

有望技術として開発を進めた要素技術については、プラントシステム化して次期プラントに集約されることになるが、必要に応じて「もんじゅ」等で確証するとともに、環境負荷低減化技術等の21世紀の原子力システムに相応しい技術開発を追求するため、炉心規模でマイナーアクチニド（MA）や高次化P uの燃焼等の確証を行う。

また、運転を通じて、プラントの経年特性・耐久性に係る貴重なデータが得られるとともに、発電プラント技術の成熟化を図ることができる。

4. おわりに

「もんじゅ」は、FBRの研究開発のための重要な場であり、この運転を再開し、研究開発を進めるには、安全確保と事故の反省を踏まえた信頼回復が不可欠である。これまで、ナトリウム漏えい事故の原因究明、「もんじゅ」の安全総点検、意識改革、地域社会の理解促進活動を行ってきたが、今後も引き続き努力を継続していく。

表1 「もんじゅ」運転データによる技術実証とFBR研究開発への反映

運転データの種別		反映先	具体的な反映項目
大分類	項目		
プラントの製作・ 据付データ	原子炉容器等大型機器の製作精度データ	機器設計	信頼性の向上、許容精度合理化による経済性向上
	燃料交換機等大型/長尺機器の据付精度データ	機器設計・建設方法	許容精度合理化による経済性向上
	系統内腐蝕度管理のデータ	建設方法	業務慣入管理基準による信頼性向上
プラントの運転・ 保守データ	トラブル・不具合経験、補修経験	安全設計	信頼性の高いプラント
	ナトリウム漏入仕様・系統充填・純化実績等のデータ	プラント管理技術	ナトリウム不純物管理技術の確立
	ナトリウム処理に関するデータ		腐食物発生量の低減
	ポンプ、SG等の異常診断データ（振動、音響）		異常診断技術の高度化
	IS装置の操作・運用		信頼性の高い機器の健全性確保
	系統・機器の検査性、工程管理経験		合理的な保守計画
	腐食物・液ばく低減化に関するデータ		腐食物発生量・液ばくの低減化
	ナトリウム系・水/蒸気系の長期保管データ		信頼性の高い保管管理基準
	運転計画・保守計画の体系化		最適な運転計画、点検保守基準
	増殖性能に関するデータ		大型炉心の増殖特性、核燃料サイクルコスト評価
	臨界特性、反応度特性、出力分布特性等に関する試験データ		大型炉心の反応度、出力分布特性評価
高速中性子炉心の データ	ボイド反応度に関するデータ	炉心設計	大型炉心のボイド反応度評価
	ブルトニウム炉心管理に関するデータ	炉心管理	炉心管理技術の向上
	高次化ブルトニウムの燃焼データ	燃料設計	実用プラントにおける燃料サイクル評価
	発電効率、所内負荷率等のデータ	熱・システム設計	発電率の高いプラント
発電機能を有する 総合システムとし てのデータ	水-蒸気系を含むプラント熱伝達特性データ	熱伝達設計	実用プラントにおける熱伝達評価
	水-蒸気系を含む自然循環流動特性データ	流動設計	実用プラントにおける自然循環流動特性評価
	プラントトリップ時の過渡特性データ	構造設計	プラント機器の熱応力解析
	出力変動時におけるプラント運転制御特性データ	運転制御特性	安定かつ信頼性の高い運転制御性
	インターロック試験、プラント過渡特性試験データ	計装監視機器の設計	安定性・信頼性の高い安全保護系機器
	補給冷、換気空調系等の機能試験結果、運転特性	機器・設備設計	最適化された機器・設備
	照射燃料、燃料集合体、制御棒検査データ	燃料設計	高燃焼度化、制御棒の長寿命化による経済性向上
実環境下（複合的 環境条件・複雑な 体系）のデータ	破損燃料取出系の性能、バックグラウンドデータ	安全設計	燃料破損時の検出性能評価
	蒸気発生器水濡れ検出系の性能、バックグラウンドデータ	安全設計	蒸気発生器伝熱管水リーク時の挙動評価
	機密セル・格納施設の漏えい率データ	安全設計	合理的な安全設計条件・機密セル等の設計
	原子炉周り、1次・2次冷却系等の放射線データ	遮蔽設計	高精度な遮蔽設計、ナトリウム放射化量評価
	配管系振動特性データ	構造設計	高精度な配管系の振動特性評価
	系統放熱熱量、冷却系室温等のデータ	空調・系統設計	合理的な空調・系統設計
	使用済み燃料の引抜性、新燃料の挿入性に関するデータ	燃料取設計	信頼性の高い燃料系
	炉内設置機器・ドアバルブ等の操作性/検査性データ	機器設計	信頼性の高い大型機器の設計
	トリチウム、放射性廃棄生成物等の冷却系内分布データ	系統設計	実用プラントでの放射性物質挙動評価
	ブレナム内温度成層化データ	熱伝達設計	実用プラントにおける温度成層化評価
大型化された機器 等のデータ	プラント系統・機器の昇温時の特性データ	構造設計	機器・配管の熱膨張変形評価
	ポンプトリップ時コストダウン特性データ	機器設計	合理的なコストダウン特性を有するポンプ
	冷却系運転性能、過渡特性データ		大型ポンプ、蒸気発生器等の設計
	純化系運転データ		最適なコールドトラップの設計
	ナトリウム濡れ検出器、電線流量計等のデータ		信頼性の高い大型機器の設計
	ナトリウムミスト挙動、ベーパーラップ特性		信頼性の高い機器設計

長期計画策定会議・第三分科会
(第6回)

「もんじゅ」の位置付けと研究開発の進め方

平成12年2月15日
核燃料サイクル開発機構
相澤 清人

FBRサイクル開発の意義

- ウラン資源の有効利用(長期的エネルギーセキュリティ)
- 環境負荷の低減(放射性廃棄物発生量低減・再利用)

「もんじゅ」の位置付け

- 運転・保守経験を基盤とした技術体系の確立が必要

「もんじゅ」は、「発電プラント技術確立の場」と位置付け
将来においては、「技術実証の場」も付加

人類の将来のエネルギー確保及び環境保全に貢献
21世紀における原子力科学技術の発展に貢献

- 「もんじゅ」が発電プラント技術確立の場にふさわしい理由

もんじゅの技術的特徴

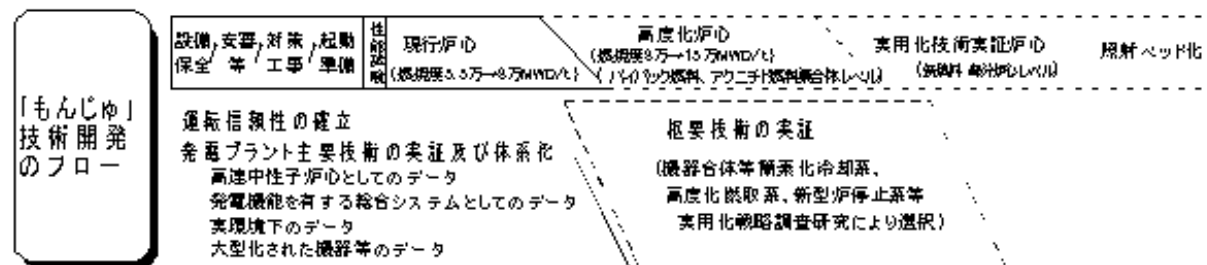
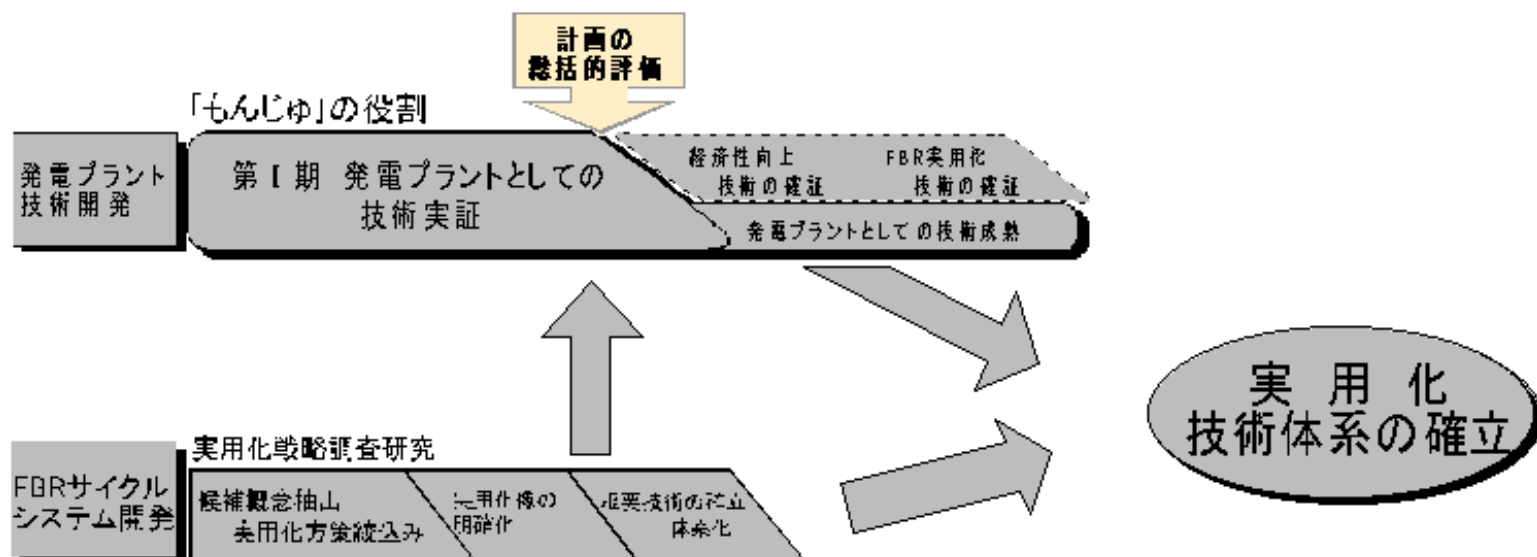
総合的な発電システム
高速中性子炉心
複合的な実環境下
設備・機器が大型化
照射スペースが可能

得られる知見

高度の信頼性・安定性を持つ
総合的技術システムの実現
炉心・運転制御等の貴重なデータ
燃料健全性、計測系バックグラウンド等
の実機ならではのデータ
スケールアップ効果の把握

研究開発の進め方

- 「発電プラント技術の確立」に重点
- 節目には原子力委員会の評価を受けて見直す
- 内外の研究者に広く公開



第1期：発電プラントとしての技術実証

運転信頼性の確立

事故の反省を踏えた安全確保策（Na関連設備を中心とした改善、運転手順書改訂、品質保証活動充実、教育訓練強化等）の徹底を図りつつ、以下を実施

- ・トラブル/不具合経験とその克服、補修を通じ、運転・保守方法を改善し、高度の信頼性・安定性を有するプラントを実現
- ・Na不純物管理/処理、Na機器の取扱い等の習熟
- ・異常診断技術の改良、機器の検査/管理方法の整備

発電プラント主要技術の実証及び汎用技術体系化

- 高速中性子炉心データ（増殖性能、出力分布特性、高次化Pu燃焼等）
- 発電総合システム（発電効率、運転制御性、サブシステム間干渉、等）
- 実環境データ（燃料等の照射健全性、計測系バックグラウンド、遮蔽、等）
- 大型化機器データ（蒸気発生器、ポンプ、温度成層化、等）

表1 「もんじゅ」運転データによる技術実証とFBR研究開発への反映

運転データの種別		反映先	具体的な反映項目
大分類	項目		
プラントの製作・ 据付データ	原子炉容器等大型機器の製作精度データ	機器設計	信頼性の向上、許容精度合理化による経済性向上
	燃料交換機等大型/長尺機器の据付精度データ	機器設計・建設方法	許容精度合理化による経済性向上
	系統内漏等管理のデータ	建設方法	異物混入管理基準による信頼性向上
プラントの運転・ 保守データ	トラブル・不具合経緯、補修経緯	安全設計	信頼性の高いプラント
	ナトリウム購入仕様・系統充填・純化実績等のデータ	プラント管理技術	ナトリウム不純物管理技術の確立
	ナトリウム処理に関するデータ		腐食物発生量の低減
	ポンプ、SG等の異常診断データ（振動、音響）		異常診断技術の高度化
	IS装置の操作・運用		信頼性の高い機器の健全性確認
	系統・機器の検査性、工程管理経緯		合理的な保守計画
	腐食物・液ばく低減化に関するデータ		腐食物発生量・液ばくの低減化
	ナトリウム系・水/蒸気系の長期保管データ		信頼性の高い保管管理基準
	運転計画・保守計画の体系化		最適な運転計画、点検保守基準
高速中性子炉心の データ	増殖性能に関するデータ	炉心設計	大型炉心の増殖特性、核燃料サイクルコスト評価
	臨界特性、反応度特性、出力分布特性等に関する試験データ		大型炉心の反応度、出力分布特性評価
	ボイド反応度に関するデータ		大型炉心のボイド反応度評価
	ブルトニウム炉心管理に関するデータ	炉心管理	炉心管理技術の向上
	高次化ブルトニウムの燃焼データ	燃料設計	実用プラントにおける燃料サイクル評価
発電機能を有する 総合システムとし てのデータ	発電効率、所内負荷率等のデータ	熱・システム設計	熱効率の高いプラント
	水-蒸気系を含むプラント熱伝達特性データ	熱伝達設計	実用プラントにおける熱伝達評価
	水-蒸気系を含む自然循環流動特性データ		実用プラントにおける自然循環流動特性評価
	プラントトリップ時の過渡特性データ	構造設計	プラント機器の熱応力解析
	出力変動時におけるプラント運動特性データ	運動特性	安定かつ信頼性の高い運動特性
	インターロック試験、プラント過渡特性試験データ	計装監視機器の設計	安定性・信頼性の高い安全保護系機器
	補機冷、換気空調系等の機能試験結果、運転特性	機器・設備設計	最適化された機器・設備
実証条件下（複合的 環境条件・複雑な 体系）のデータ	照射燃料、燃料集合体、制御棒検査データ	燃料設計	高燃焼度化、制御棒の長寿命化による経済性向上
	破損燃料後出系の性能、バックグラウンドデータ	安全設計	燃料破損時の後出性能評価
	蒸気発生器圧力上昇後出系の性能、バックグラウンドデータ		蒸気発生器伝熱管水リーク時の挙動評価
	燃焼セル・格納施設の漏えい率データ		合理的な安全設計条件、燃焼セル等の設計
	原子炉周り、1次・2次冷却系等の放射線データ	遮蔽設計	高精度な遮蔽設計、ナトリウム放射化量評価
	配管系振動特性データ	構造設計	高精度な配管系の振動特性評価
	系統放熱熱量、冷却系室温等のデータ	空調・系統設計	合理的な空調・系統設計
	使用済み燃料の引抜き、新燃料の挿入性に関するデータ	燃料系設計	信頼性の高い燃料系
	炉内設置機器・ドアバルブ等の操作性/検査性データ		
	トリチウム、放射性廃棄物生成物等の冷却系内分布データ		実用プラントでの放射性物質挙動評価
大型化された機器 等のデータ	プレナム内温度成層化データ	熱伝達設計	実用プラントにおける温度成層化評価
	プラント系統・機器の昇温時の特性データ	構造設計	機器・配管の熱膨張変形評価
	ポンプトリップ時コストダウン特性データ	機器設計	合理的なコストダウン特性を有するポンプ
	冷却系運転性能、過渡特性データ		大型ポンプ、蒸気発生器等の設計
	純化系運転データ		最適なコールドトラップの設計
	ナトリウム漏えい検出器、電線位置計等のデータ		信頼性の高い大型機器の設計
	ナトリウムミスト挙動、ペーパートラップ特性		信頼性の高い機器設計

その後の展開

経済性向上に寄与する技術の確証

運転信頼性をさらに向上する「プラント技術の成熟」に加えて、「もんじゅ」運転コストの低減と炉心に照射スペースを確保する等の性能向上を図る

○運転/保守コストに係るコスト低減

- ・燃料の高燃焼度化による燃料費の低減
- ・点検保守の頻度や範囲等の見なおしによるコスト削減

○炉心の高度化、集合体規模での照射試験

- ・燃料サイクルコスト低減燃料やTRU、LLFP入り燃料を集合体規模で照射
- ・自己作動型炉停止系の実証、等

註) TRU: 超ウラン元素
LLFP: 長半減期核分裂生成物

○実用化戦略調査研究で選択された技術の確証

FBR実用化技術の確証

○21世紀に相応しい技術開発を追求(例:マイナーアクチノイド燃焼の確証、等)

○プラント経年特性・耐久性の確認、等の発電プラント技術の成熟

終わりに

- 「もんじゅ」はFBRの研究開発のための重要な場。
- 「もんじゅ」の運転を再開し、研究開発を進めるには、安全確保と事故の反省を踏まえた信頼回復が不可欠と認識。
- これまで、ナトリウム漏えい事故の原因究明、「もんじゅ」の安全総点検、意識改革、地域社会の理解促進活動を行ってきたところ。今後も引き続いて努力。
- サイクル機構としては、地域社会のご理解を得ながら、「もんじゅ」の運転を早期に再開し、ナトリウム取扱い技術を含む運転経験を蓄積し、発電プラント技術の確立を早期に図ることとしたい。