

特別講演「第6回もんじゅ建設の歩み」
—もんじゅ設計の経緯—
(技術報告)

2005年3月

核燃料サイクル開発機構
敦賀本部国際技術センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2005

特別講演「第6回もんじゅ建設の歩み」

－もんじゅ設計の経緯－

(技術報告)

大塚 二郎^{*1}、川西 伴岳^{*2}、小屋越 直喜^{*3}

佐々木 和一^{*3}、澤田 誠^{*3}

要 旨

敦賀本部国際技術センターでは、高速原型炉「もんじゅ」の運転再開に向けた教育研修の一環として、「もんじゅ建設の歩み」と題する特別講演を平成14年7月より展開致している。

この特別講演は、「もんじゅ」のことをもう一度一から勉強し直そうとの発想に立って開催するもので、当時の建設業務に従事した諸先輩方に講演を頂き、建設時代に得られた貴重な経験や知見を「もんじゅ」開発に携わる関係者に伝承することを目的としている。

第1回は、「用地選定から着工まで」と題して、また第2回は「もんじゅん燃料の開発」と題して、平成14年7月と11月に開催した。第3回は「格納容器の建て方」と題して、平成15年3月に開催した。第4回は「原子炉容器・炉本体構造機器製作据付」と題して平成15年12月に開催した。第5回は「一次系構造物及び据付工事」と題して平成15年6月に開催した。

本資料は、その第6弾として開催する特別講演の講演資料をまとめたものであり、もんじゅ安全審査対応を含めた「もんじゅ」の設計について講演が行われた。

○開催日：平成17年1月24日（月）

○場 所：国際技術センター情報棟（MCスクエアホール）

○講 師：高橋 忠男殿（元 動力炉・核燃料開発事業団理事、FBR高等研究所代表）

*1：国際技術センター 実技訓練グループ（開発協力員）

*2：国際技術センター 実技訓練グループ（高速炉技術サービス株）

*3：国際技術センター 実技訓練グループ

「もんじゅ」建設の歩み(第6回)

「もんじゅ」設計の経緯

2005年1月24日

高 橋 忠 男
元 動力炉・核燃料開発事業団 理事
FBR高等研究所 代表
東京大学 非常勤講師

「もんじゅ」設計の原点

FBR開発の基本的考え方

- ・わが国のエネルギー政策上の重要課題
- ・将来の原子力発電の主流、可能な限り自主的な開発
- ・産業基盤の強化、科学技術水準の向上

基本方針

- ・高速増殖原型炉、電気出力 25~30万kW
- ・Pu-U混合酸化物燃料、液体金属ナトリウム冷却

原型炉としての使命

- ・FBR技術の確立、安全性・信頼性の確認、実用化を見通す

スケジュール

- ・昭和40年代の半ば(昭和48年度)までに建設に着手(昭和41年)
- ・昭和51年度ごろに臨界(昭和43年)

当時の開発状況と技術レベル

日本のFBR開発状況

- ・高速実験炉の設計中、着工は昭和45年5月

世界のFBR開発状況

- ・原型炉としては、イギリスとフランスが既に建設を開始、
アメリカと西ドイツがやや先行して設計を開始

当時の日本のFBR技術レベル

- ・高速実験炉の経験、ジュネーブ会議等の技術資料、書籍 など
- ・関連するものとして、熱中性子炉の導入技術
- ・それに、当時の先端実用技術全体を基盤

FBR開発体制

- ・動力炉・核燃料開発事業団の設立(昭和42年10月)
- ・官学民の協力体制で推進、FBR技術の共有を図る

「もんじゅ」設計の考え方

当時の心構え

- ・エネルギーセキュリティの確保を目指す最重要技術を開発する

原型炉の意義

- ・実用炉につなぐ技術の確立と、安全性・信頼性を確認する

FBR技術の確立

- ・FBRの技術基盤を構築する

実用化の見通し

- ・FBR技術基盤の上でスケールアップする

経済性の配慮

- ・安全性の許す限り経済性に配慮する

当時の社会情勢

- ・FBRは次代のエネルギー問題を解決するものとして期待され、
平和3原則のもとでおこなう開発を支持

「もんじゅ」設計の主要な経緯

予備設計(昭和43年度)

- ・国内原子力グループメーカー5社による自由設計

概念設計(原型炉設計、「もんじゅ」設計) (昭和43~48年度)

- ・原型炉としての基本仕様の選定に始まり、プラントシステム全体を見通しつつ、設計結果の検討評価により概念や仕様を絞りこむ

調整設計(昭和48~51年度)

- ・プラント全般の設計調整を行い、調和の取れた概念設計をまとめ上げる

ライセンサブルな設計(昭和48~49年度)

- ・安全審査に耐える概念設計を取りまとめるとともに、ベースとなる資料を整備する

詳細設計(昭和52年度~)

製作準備設計、製作設計準備、製作設計

設計ステップ 1

基本方針と意義付け

- ・原型炉にふさわしい機能、Pu-U混合酸化物とNa採用の根拠

目標

- ・高い増殖比、熱効率、燃料燃焼度の達成

原型炉としての概念

- ・実用化を見通せる技術基盤をベースとして成立すること

設計の進め方

- ・基本的な設計手法から始めて、設計技術も高度化してゆく
- ・レファレンス、オルタナティブ、バックアップの考え方の採用

研究開発成果の反映

- ・設計と研究開発計画実施は同時並行、
研究開発に待つところが多いが、見通しで設計を進めざるを得ない

設計ステップ 2

FBR技術の確立

- ・FBRの特徴を考慮した設計方針、設計技術、規格基準等の設定

設計の基本的考え方

- ・自主技術で開発、FBR技術の確立、設計と研究開発を車の両輪
- ・FBRの特徴を十分に考慮、原型炉としてふさわしい性能を追求
- ・安全性と信頼性を重視、安全性の許す限り経済性を考慮
- ・実現性を最優先で重視、実用化を見通せる設計
- ・規定された建設時期との整合を重視
- ・許認可への適合性を重視
- ・先行炉経験の反映、海外先行炉情報を参考
- ・軽水炉技術の進展を考慮

設計ステップ 3

設計条件

- ・自主技術、設計技術、実用技術、研究開発、許認可対応、建設時期、国産材料、海外情報
- ・数値目標の指示なし

研究開発：方策とスケジュール、その反映

- ・総合開発計画の立案と担当組織との協力、設計仕様との調和
- ・大型試験は集中、小型試験は分散
- ・実験炉の実規模確認試験に対して、部分やスケールダウンしたモデル試験
- ・設計と平行実施して、順次に成果を設計に反映
- ・外部専門家による評価

設計ステップ 4

基本構想

電気出力	約300MW
燃料燃焼度	10万MWd/t目標
増殖比	1.2以上
負荷率	80%
設計寿命	30年

燃料被覆管最高温度 700°C以下

設計ステップ 5

原型炉としての基本仕様の選定(赤字はその後変更)

熱出力	750MW
ブランケット燃料	UO ₂
燃料被覆管材質	SUS32
制御棒材料	B ₄ C
原子炉型式	ループタイプ
ループ数	3ループ
ポンプ位置	コールドレグ
主蒸気条件	169kg/cm ² 、510/510°C再熱
蒸気発生器型式	ヘリカルコイル型伝熱管
原子炉内燃料交換方式	単回転プラグ固定アーム
燃料交換期間	6月(炉内貯蔵)

設計ステップ 6

概念と仕様の絞込み時の課題

- ・原子炉熱出力
- ・燃料ペレット径、ペレット密度、プルトニウム組成、燃料燃焼度、燃料集合体スペーサ型式、集合体内要素数、ブランケット厚さ、原子炉高さ、制御棒機能分担
- ・炉心拘束方式、原子炉支持構造、原子炉容器冷却材出入方式、配管配置方式
- ・冷却ポンプ型式、中間熱交換器型式、蒸気発生器伝熱管構造、蒸気発生器管板位置
- ・補助炉心冷却系、メンテナンス冷却系
- ・原子炉出口冷却材温度
- ・ターピン入口主蒸気条件
- ・最高温度(燃料、被覆管肉厚中心、冷却材)
- ・原子炉格納容器
- ・運転方法

ほか

設計ステップ 7

実用化を見通した大型炉の概念検討(昭和45年度)

電気出力	.....	1000MW
原子炉型式	.....	ループ型
原子炉構造	.....	冷却材下部導入方式
原子炉内燃料交換方式	.....	単回転プラグアーム方式
燃料炉心部長さ	.....	約900mm
核分裂生成ガス取扱	.....	燃料内ガスプレナム内貯蔵

設計ステップ 8

基本的な考え方の確立とライセンサブルな設計

- ・FBR思想の具現化、プラントの総合的概念の確立、
設計方針、設計手法、基準などの一元的統合をはかる

安全評価の方法

- ・事象選定、判断基準、
- ・設計基準外事象、
- ・確率論的リスクアセスメント

重要安全評価項目(順不同)

燃料最高燃焼度、原子炉停止系信頼性、冷却材液位確保、

崩壊熱除去系信頼性、メンテナンス冷却系役割、自然循環能力、

安全機能別重要度分類、火災防護指針適合性、

高温構造設計方針妥当性、

ISI計画、

事象選定解析妥当性、漏洩先行型破断思想、配管破損規模妥当性、

蒸気発生器伝熱管破損規模妥当性、漏洩ナトリウム燃焼抑制機能、

設計基準外事象評価、長期崩壊熱除去、

ほか

構築したFBR基本技術 1

安全設計方針

- 液体金属冷却型高速増殖炉施設の安全設計方針
58項目……うち11項目が特有なもの

高温強度設計方針と材料基基準

- 高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針
- 高速原型炉高温構造設計方針 材料強度基準等

設計計算コードなど

- ・FBR設計コード
- ・FBR動特性解析コード
- ・FBR自然循環解析コード
- ・FBR安全解析評価コード
- ・FBR機器故障データベース

ほか

構築したFBR基本技術 2

「高速増殖炉の安全性の評価の考え方」への対応

「もんじゅ」の安全審査を念頭において、原子力安全委員会が昭和55年11月に決定した

LMFBRの安全設計と安全評価についての考え方を定めているが、これに十分に対応するとともに、その実施のベースとなる技術データを提示している

特筆されるいわゆる5項事象（「発生頻度は低いが結果が重大であると想定される事象について、運転経験が僅少であることに鑑み、起因となる事象とこれに続く経過に対する防止対策との関連において評価をおこなう」：「技術的には起こるとは考えられない事象」の想定と評価）に対する対応を図った

残された設計上の課題

実機データによる設計技術の検証

- 現在までに、出力40%までしか、実機データによる設計の検証が進んでいない
- 設計条件以上の安全余裕等が実機に含まれていることの影響評価を行う必要がある
- 経年変化に関する実機データがまだ得られる状況はない
- 核燃料サイクルの検証を経て、燃料燃焼度、増殖比などの確認が必要である

設計技術向上の反映

- ・高度化、詳細化された設計手法の反映と確認
- ・高温構造設計と材料基準の高度化の反映と確認

FBR開発への貢献の課題

FBR技術の確立と継承

- ・FBR技術の体系化
 - ・FBR設計技術の整理
 - ・技術蓄積とデータベースの構築
 - ・経験の書類化
 - ・炉と燃料の間との技術的な整合を十分に調整
 - ・芸術的技術から工業的技術への展開
 - ・FBR燃料集合体照射試験施設としての検討
- ・世代を超えた技術継承の方策の確立

おわりに

基本的考え方の整理

使えるデータベースの構築

計測されない制限条件の実機確認

安全余裕の確認

総合安全性の評価

ペーパーワークからの脱皮

新安全審査の検討

新技术の整理