

## 次期 ABWR プラントへの取り組み

Efforts for Development of Next ABWRs

待場 浩  
H. Machiba

斉藤 健彦  
T. Saito

水野 勝之  
K. Mizuno

当社は東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所 6 号機, 7 号機 (K-6, K-7) の建設・運転を進める一方, これと並行して次期改良型沸騰水型原子炉 (ABWR: Advanced Boiling Water Reactor) の計画に取り組んできた。次期 ABWR は, まず第一に他のエネルギー源と経済的にも競争し得るものでなければならぬ。そのため, 建設費, 運転費の低減を図るための多様な施策を図り, その実現のため注力してきた。

また, 2010 年代になると安全性はもとより, さらなる経済性の向上, 人的負担の軽減を旨としたプラントが要求される。それにふさわしい次世代の ABWR を計画し, 研究・開発を進めている。

Toshiba has been working on the development of the next advanced boiling water reactors (ABWRs), in parallel with the construction and operation of the Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station Units No. 6 and 7 of The Tokyo Electric Power Co., Inc. We have paid close attention to lowering the construction and operating costs of the next ABWRs, which must be economically competitive with other electric power plants.

In addition, we are dedicating ourselves to plans for the next-generation ABWR in the 2010s, in which greater economy and further reduction of the burden on humans are the important aspects, and are concentrating our efforts on accomplishing these targets.

### 1 まえがき

ABWR の初号機である K-6 は, 国際協力により, 世界で実証された BWR 技術を基に最新の開発技術を集大成したプラントである。K-6 は安全性, 信頼性, 運転性, 保守性を向上するとともに, 廃棄物量, 放射線量を低減し, プラントライフを通しての経済性を向上した使いやすい BWR プラントの決定版として, 開発・設計・建設された。

その結果は K-6 の試運転・営業運転をとおして着々と実現されている。

しかし, 着工された 1991 年から 5 年以上の年月経過とともに, 技術進歩はもとより, 原子力に対する社会的条件も変わってきた。

ABWR の優れている点を認識し, 国内の電力会社の次のプラントとして検討していただいております, さらに海外での関心も高く, 将来はプラントとして輸出されていくことになると考えられる。また, 原子力が環境負荷, エネルギーセキュリティ上大事なエネルギー源であるといわれている。しかし, これだけではこれからの電力供給の主流を担うことは難しく, 他のエネルギー源と経済的にも競争し得るものでなければならなくなってきた。

このような環境の中で, 安全性・信頼性を前提として, より経済的, より使いやすいプラントを旨として, K-6/7 を基本とした次期 ABWR や次世代 ABWR を計画している。これらのプラントの設計概念と改良・改善項目を紹介する。

### 2 次期 ABWR

#### 2.1 概要

原子力プラントの現在もっとも重要な課題は, 安全性・信頼性はもとより発電原価のよりいっそうの低減である。

発電原価を低減するためには, 建設費の低減, 保守費の低減, 燃料費の低減, 稼働率の向上, 出力の向上が主要な項目であり, ABWR はこれらの項目を具体的に実現していくものである。

これらの項目を K-6/7 を大幅に変更することなく実現していくプラントを当面の次期 ABWR プラントとして位置づ

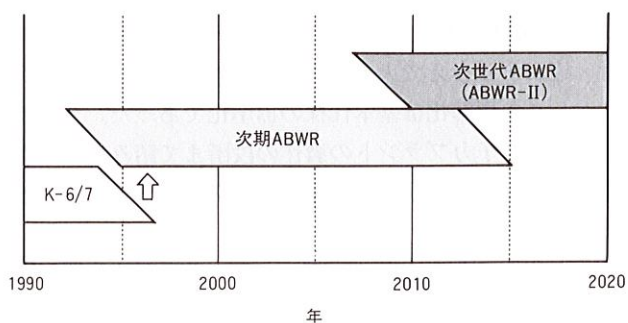


図 1. ABWR の展望 今後の ABWR の流れは, K-6/7, 次期 ABWR, 次世代 ABWR となる。

Development of ABWRs

け、改良・改善を図っていく。

出力の向上は経済性向上の大きな因子となる。現在電気出力 135 万 kW クラス ABWR に対し K-6/7 を大幅に変更しない範囲で 150 万 kW クラスの ABWR として、より経済性向上を図ったプラントも次期 ABWR の一つとして位置づけている。

さらにより経済性の向上、より使いやすくした ABWR を次世代 ABWR と位置づけ、ABWR の改良・発展を目ざしていく。図 1 にこれらのプラントの年代別の位置づけを示す。

## 2.2 経済性の向上

次期 ABWR の経済性向上のための具体的な方法を以下に示す。

- (1) リピート効果を生かすためのプラント全体としての標準化を行う。
- (2) 物量を低減させるための設備の合理化を行う。
- (3) 建設中の利子、現地工数を低減するため建設工期の短縮を図る。
- (4) 製作者、メーカ、電力会社および関係官庁間の重複検査や数多い立会検査の最適化を行う。
- (5) 海外調達も含め機器の調達先を拡大し、競争原理の拡大を図る。
- (6) 合理的な機器を導入して保守費の低減を図る。
- (7) 燃料の高燃焼度化を図り燃料経済性を向上させる。
- (8) 定期検査（以下、定検と略記）工程を短縮し、稼働率の向上を図る。
- (9) 定格熱出力運転、長期サイクル運転など規制緩和を求め、他のエネルギー源と同等な条件に近づける。
- (10) kW 当たりの建設単価低減のため単機出力を向上させる。

図 2 に発電原価を低減させるための全体施策を示す。

以下に主要項目について述べる。

### 2.3 標準化

通商産業省により第一次から第三次の改良標準化がなされ、ABWR は第三次改良標準化プラントとして位置づけられている。

これらの改良標準化は BWR を一連の標準プラントとして設計・建設するうえで大きな成果を果たしてきた。

しかしこの標準化は基本仕様の標準化であった。今回の標準化は、原子力プラントの製作の段階まで踏み込んだ標準化をすることにより、より経済的なプラントとすることである。

サイト条件である地形、地震、海象、電力周波数などの条件に関する標準化は難しいが、これらを除いた条件での標準化を図っていく。

標準化の例として以下のようなものがある。

- (1) 配管計装線図段階の標準化

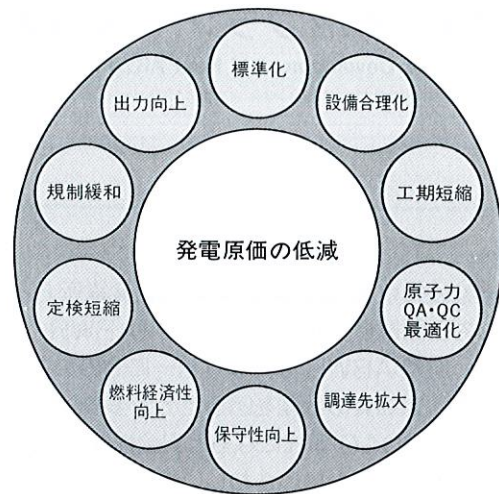


図 2. 発電原価の低減 次期 ABWR プラントの発電原価を低減させるための方策は多様な方法をとる。

Methods of lowering generating cost

- (2) 機器の標準化
- (3) 機器配置の標準化
- (4) 配管、ケーブル、空調ダクトおよび支持装置の標準化
- (5) 機器名称・番号の標準化

### 2.4 合理化

サイト条件の影響が大きく、標準化を阻害したり、各号機間の建設時期が離れていた場合などで技術の進歩が大きい場合は、標準化によるリピートメリットが少なく、むしろ合理化による物量削減や新技術採用により、経済的なメリットを出したほうがよい。その場合は合理化を図っていく。

次期 ABWR として考えている合理化の例として以下のものがある。

- (1) 高燃焼度ステップⅢ燃料
- (2) マグネットカップリング改良型制御棒駆動機構（マグネットカップリング FMCRD：Fine Motion Control Rod Drive）
- (3) 原子炉内蔵型再循環ポンプ（RIP：Reactor Internal Pump）電源の共用化
- (4) プロセス計算機の分散化
- (5) 床ドレン、機器ドレンの統合処理
- (6) 復水脱塩装置の非再生設計

### 2.5 建設工期短縮

K-6 の建設を通して、48 か月の建設工期の達成の見込を得た。

次期 ABWR としては建設中の利子の低減や、現地工数削減の可能性のある工法により、建設工期を短縮していく。

次期 ABWR の工期は次の施策を用いて 46 か月の短縮工

期とする。

- (1) 大ブロック工法
  - (a) 大型揚重機の採用 (大型クローラクレーン)
  - (b) 建屋基礎マット配筋モジュール化
  - (c) 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器 (RCCV) ライナ大ブロック化
  - (d) 原子炉本体基礎一体化
  - (e) RCCV トップスラブ大ブロック化
  - (f) パイプホイップストラクチャ・配管の大ブロック化
  - (g) FMCRDハウジングの工場据付
- (2) 系統試験の合理化

図3に以上の施策を用いた場合の工程を示す。

また、建屋構造を鉄骨・鉄筋コンクリート (S+RC) 構法にすることにより、さらなる工期短縮を目指す。

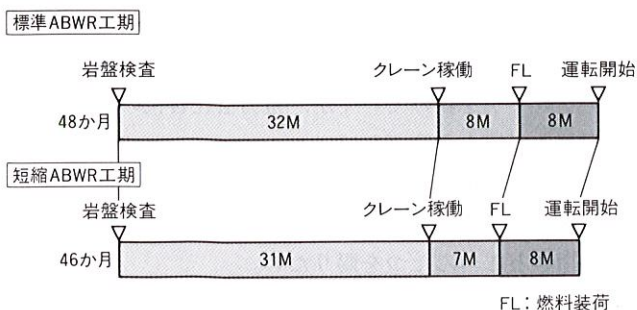


図3. 建設工期の短縮 ABWRの48か月の基本的な工期を46か月に短縮する。

Shortening of construction period

## 2.6 定検短縮

定検日数を短くして稼働率を向上させ、結果として発電原価を低減させる。

第二次改良標準化でBWR 110万kWプラントは71日を目指し、第三次改良標準化でABWRは55日を目指してきたが、最近の運転プラントでは、東京電力榎福島第二原子力発電所3号機で47日を達成し、運転プラントの定検短縮は着々と進んでいる。

今まで定検短縮のため行われてきた施策には以下のものがある

- (1) 予備品入替方式の採用
- (2) 長年の経験による予備日の削減
- (3) 原子炉圧力容器 (RPV) 自動スタッドテンシヨナ, その他取扱設備の改良
- (4) 作業時間帯延長 (残業, 2直作業拡大)
- (5) テーパスリーブ付カップリングボルトの採用
- (6) オペレーションフロア・レイダウンの適正配置
- (7) 天井クレーンの効率活用

さらに、47日達成のためには次の事がらを行った。

- (1) RPVヘッドスプレアの運用
- (2) タービンオイルフラッシング方法の改善
- (3) 燃料取替機の高速度化
- (4) 作業時間管理工程の作成
- (5) 作業環境の整備

これからの次期ABWRとしては30日台を目標とし、運転プラントで検討し採用される方策は当然採用し、さらに設計段階で以下のものの採用を考えていく。

- (1) 炉心管理装置の採用
- (2) マグネットカップリングFMCRDの採用
- (3) 燃料取替機の高速度化 (二本マスト)
- (4) 運転中メンテナンスのための原子炉補機冷却 (RCW) 海水系の予備の2台化
- (5) 油圧ボルトテンシヨナの採用

## 2.7 出力増大

一般に熱出力を増大させるには、RPVを大きくし、その結果RCCVや非常用炉心冷却系 (ECCS) などを大きくしなければならなくなるが、新技術を採用することにより、RPV、RCCVをK-6/7と同一寸法で、電気出力を150万kWにすることが可能である。その新技術を紹介する。

燃料設計の分野では9×9燃料を改良することにより最小限界出力比 (MCPR) の向上が実現され、線出力密度の余裕が出てくる。さらに、将来燃料例えば10×10燃料を使えばこの余裕は増大する。一方、現行ABWRのRIPは、(勘)原子力発電技術機構 (NUPEC) の実証試験などを通して約10%の流量の余裕があることが実証されている。

これらの余裕を出力密度の上昇に向けると、熱出力を現行のABWRの3,926 MWから約10%増加させることができる。これにより電気出力135万kW級ABWRの設備を大きく変更せず150万kWにすることができる。

## 3 次世代ABWR

次期ABWRの次のプラントとして次世代ABWR (ABWR-II) をBWR電力会社6社と協力して開発している。

### 3.1 設計目標

ABWR-IIプラントの設計は、①運転保守に伴う人への負担の低減 (シンプルな設計, 良い作業環境, より良いマンマシンインタフェースなど), ②他の発電方式に対する経済的優位性, ③信頼性・安全性などの性能向上, ④燃料サイクルの柔軟性などを目標としている。これらは世界における次世代軽水炉開発の共通理念でもある。

ヨーロッパおよび米国の次世代軽水炉に対する要求も参考として、定検日数・工数, 運転期間, 発電原価, 過酷事故対策, 燃料サイクル対応など2010年代のわが国の軽水炉に期待される具体的な目標を設定している。

表1. ABWR-IIの現在の設計目標  
Current targets of ABWR-II

項目	設計目標
経済性	他の電源より有利
電気出力	1,500 MW (1,700 MW も対応可)
建設工期	42 か月
定検期間	30 日
稼働率	93 %以上
運転サイクル	12~24 か月
安全設計	アクティブ+パッシブ安全系
プラント寿命	60 年

具体的な設計目標を表1に示す。

### 3.2 技術的特長

ABWR-IIプラントは1,500 MW 級をレファレンスとし、1,700 MW 級への拡張が可能な設計とし、2010 年代に期待できる規制合理化を取り入れたプラントを検討している。

設計的には、燃料・炉心設計も従来BWR から見直し大型燃料炉心とし、シュラウドレス炉内構造物、高性能気水分離器、機能別 CRD、大容量逃し安全弁 (SRV)、静的格納容器冷却系 (PCCS)、新型 ECCS (発電機付き原子炉隔離時冷却系、自己冷却式ディーゼル駆動注水系)、過渡緩和システム、ガンマサーモメータなどの新技術の採用を検討している。

図4に検討中の特長的新技術を示す。

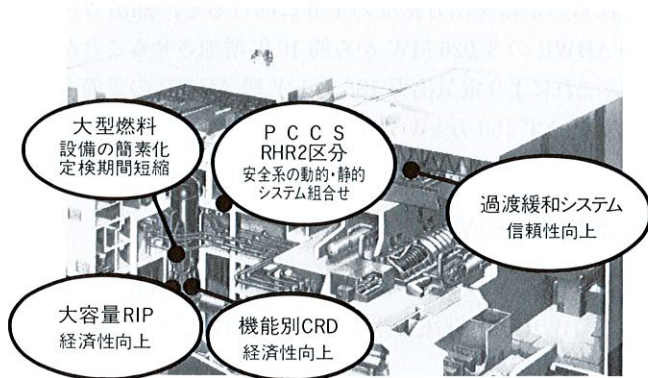


図4. ABWR-IIで検討中の特長的新技術 大型燃料、機能別CRD、PCCSなどの新技術を装備した原子炉。

Characteristics of on-going ABWR-II plant design

### 3.3 研究開発

ABWR-IIプラントのために、すでに新型注水系の開発に関する研究、マグネットカップリングFMCRDの開発に関する研究、高性能気水分離器の開発に関する研究、燃料集合体大型化の熱水力基礎研究、ガンマサーモメータの開発に関する研究が電力会社との共同研究などで開始されている。

今後さらに新技術および規制合理化関係の研究を予定しているとともに、シュラウドレス炉内構造などの確認試験計画などもすでに検討されている。今後も有効なシステム・機器に関しては積極的に研究開発を行っていく。

## 4 あとがき

K-6/7に続く次期ABWRの建設計画がなされていることは、ABWRを優れたプラントと認めていただいていることと感謝している。一方、ABWRの経済性の向上は必須(す)の要件となってきている。経済性の向上のため、多面的なアプローチを続けていくが、電力会社各位のいっそうのご理解とご協力を仰ぎたい。

また、次世代炉の開発に関しては電力会社各位と一体となって進めさせていただいているが、これからも今まで同様、ご指導とごべんたつを賜りたい。

## 文 献

- (1) 深沢昌樹, 他: 沸騰水型原子力発電所の今後の建設に向けて, 東芝レビュー, 50, 11, pp.803-806 (1995)
- (2) 深沢昌樹: 沸騰水型原子炉の技術動向, 東芝レビュー, 48, 11, pp.796-798 (1993)



待場 浩 Hiroshi Machiba

原子力事業部原子力プラント計画部部長。  
次期・次世代ABWRの開発・設計に従事。  
Nuclear Energy Div.



斉藤 健彦 Takehiko Saito, D.Eng.

原子力事業部原子力プラント計画部 次世代炉担当部長,  
工博。次世代ABWRの開発・設計に従事。日本機械学会,  
米国原子力学会会員。  
Nuclear Energy Div.



水野 勝之 Katsuyuki Mizuno

原子力事業部原子力プラント計画部主幹。  
次期ABWRの開発・設計に従事。  
Nuclear Energy Div.