# ABWRプラントの建設と起動試験

## —東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所6, 7号機—

## Construction and Start-up Test Results of Advanced BWR

北村一郎 *Ichirô Kitamura* 神田一郎 *Ichirô Kanda*
篠原 薫 *Kaoru Shinohara* 後田孝一 *Kôichi Ushiroda*

**東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所の外観**
完成したABWR(改良型沸騰水型原子炉)初号機である6，7号機(写真中央が6号機，左が7号機)。右端は従来型BWR(5号機)で，ABWRのほうがコンパクトな配置になっている。

安全性，信頼性，経済性のいっそうの向上を目指して開発してきた，ABWR(改良型沸騰水型原子炉)プラントの初号機である東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所6，7号機が完成した。日立製作所は，東芝，米国GE社と国際共同建設体制を組み，6号機ではタービン設備を，7号機では原子炉設備をそれぞれ担当した。建設の面では実績のある三次元CADと大型移動式クレーンを活用し，大ブロックモジュール工法の適用の拡大を図り，建設工期の短縮を達成した。

また，起動試験の各出力段階では，ABWRで採用したインターナルポンプ，改良型制御棒駆動機構などの最新機器の性能確認試験や，制御棒操作の自動化を採用した制御系などの制御特性試験を実施し，設計仕様どおりの優れた性能を持っていることを確認した。さらに，プラント全体の挙動を確認する各種の過渡試験でも，プラントの挙動が所定の仕様を満足していることを確認し，安全性，信頼性の面でも優れていることを実証した。

これらの実績・成果は，ABWRが優れたプラントであることを示しており，今後，このABWRが世界のBWR(沸騰水型原子炉)の主流になっていくものと考える。

## 1. はじめに

ABWR(改良型沸騰水型原子炉)の初号機である東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所6，7号機(以下，柏崎刈羽6，7号機と言う。)が，それぞれ1996年11月と1997年7月に営業運転を開始した。これらのプラントの営業運転開始で，柏崎刈羽原子力発電所は電気出力8,212 MWを誇る世界一(営業運転開始時)の原子力発電所になった。

ここでは，主として柏崎刈羽7号機の建設実績と起動試験結果について述べる。

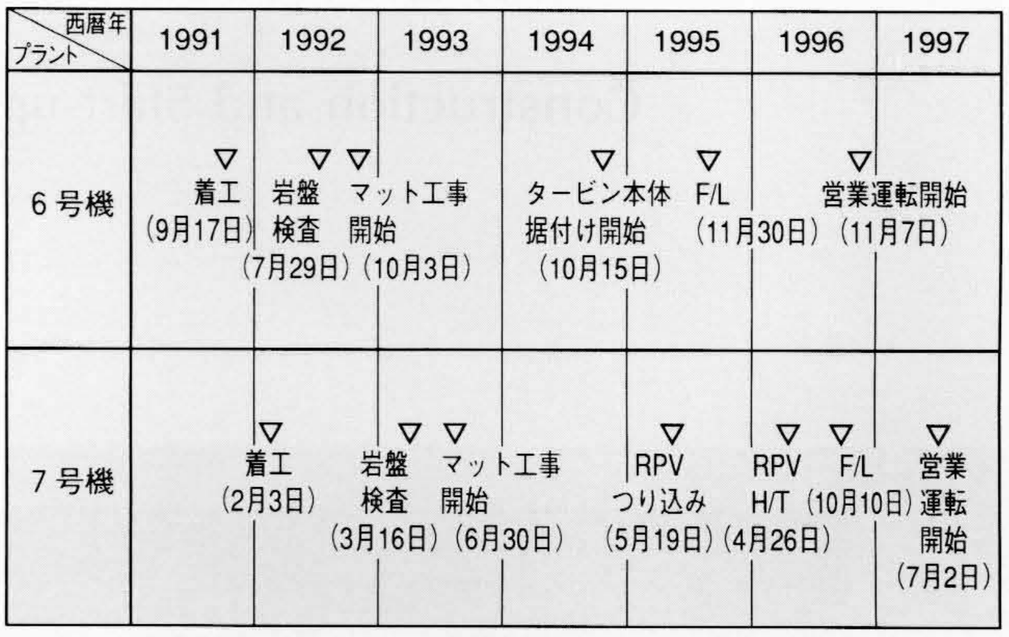
## 2. 建設工事

### 2.1　建設工程

柏崎刈羽6号機は1992年6月に循環水配管の据付けに着手し，1994年10月にタービン本体の据付けを開始した後，1996年11月に営業運転を開始した。

柏崎刈羽7号機は，1993年10月にRCCV(原子炉格納容器)据付けに着手し，1995年5月にRPV(原子炉圧力容器)つり込みを行った後，1997年7月に営業運転を開始した。

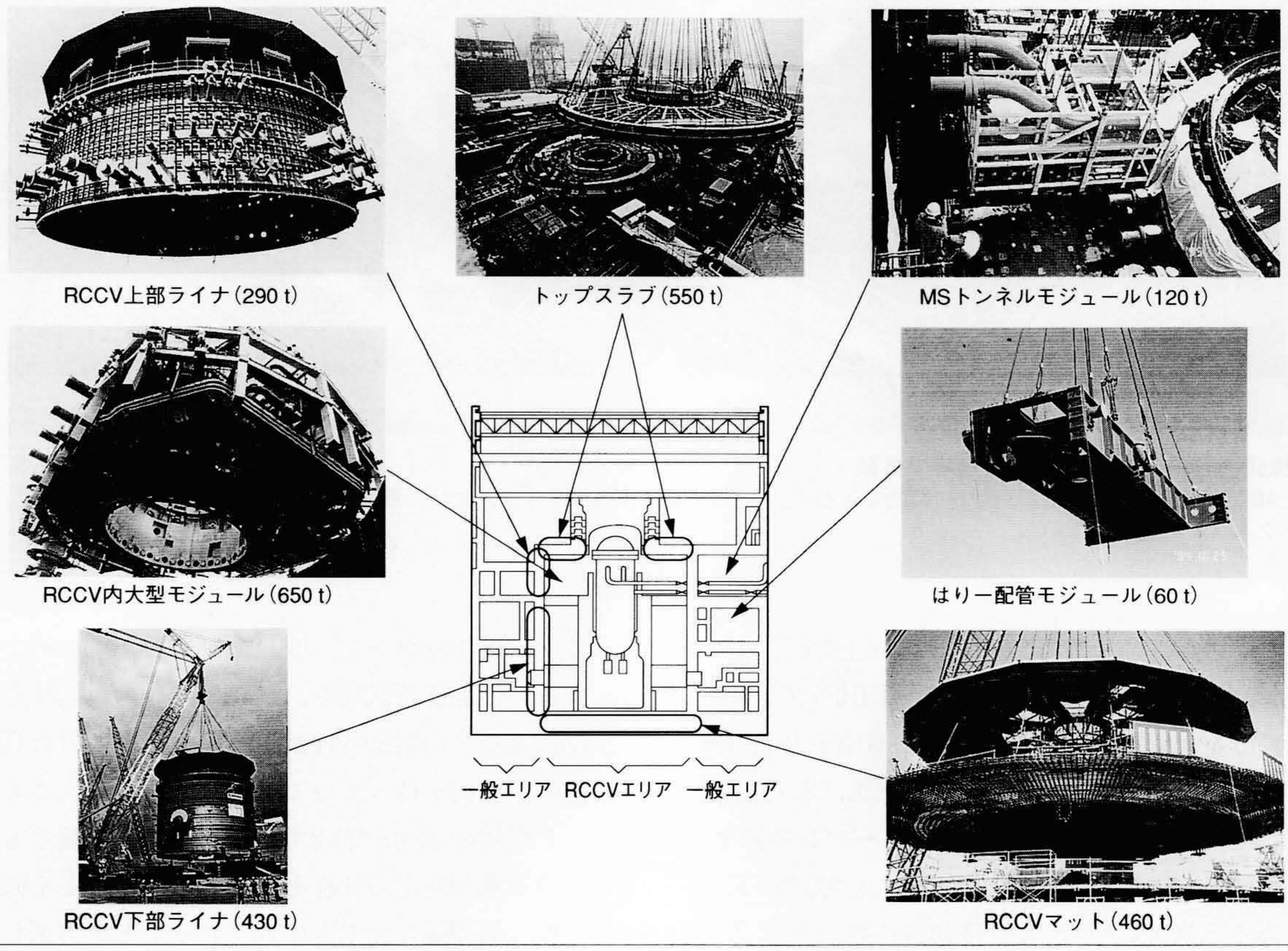
6号機，7号機とも，岩盤検査から営業運転開始まで




注：略語説明　RPV(原子炉圧力容器)，H/T(耐圧試験)，F/L(燃料装荷)

**図1　柏崎刈羽6，7号機の建設実績工程**

6，7号機とも，原子炉建屋の岩盤検査から運転開始まで約51.5か月の工程で建設を実現した。




注：略語説明　MS(主蒸気)，RCCV(原子炉格納容器)

**図2　柏崎刈羽7号機原子炉建屋の断面と建設工法**

三次元CAD，大型C/C(移動式クレーン)を活用し，製品と建築部材を一体化して積み木のように組み立てる大ブロックモジュール工法を実施した。

の建設工程を，当初計画した52か月よりも約0.5か月短縮して完了することができた。

建設工事の実績工程を**図1**に示す。

### 2.2　建設工法

柏崎刈羽7号機原子炉建屋の断面を**図2**に示す。建屋内は，RCCVエリアと，部屋ごとに鉄筋コンクリートで区切られた一般エリアに分けられる。各エリアでの建設工法実績を以下に示す[1),2)]。

(1)　RCCVエリア

このエリアを構成する部位を大きく五つに分け，各部位に含まれる製品，建築部材を290～650 t規模に大ブロックモジュール化した後，大型C/C(移動式クレーン)を用いて，積み木のように組み立てることにより，工程短縮，現地作業の低減を実現した。

(2)　一般エリア

従来，このエリアでの配管工事では，上層階に行くほど短期間に多くの作業員が必要となり，最終段階で作業員数のピークが発生していた。このため，各階部屋ごと，工場あるいは現地加工場で，10～120 t規模のモジュール化を行うことにより，作業員数ピークの低減，工程短縮を実現した。

## 3．起動試験

### 3.1　起動試験工程と試験運営

柏崎刈羽7号機の起動試験は，ABWRとして新設計品が多々採用されているため，着実でかつ段階的に機能確認を実施し，慎重に次の段階に進む必要があった。このため，試験工程に余裕を持てるように，全体工程の前倒しを図った。その結果，燃料装荷を，約1か月前倒しの1996年10月に実施できた。起動試験実績工程を**図3**に示す。

また，起動試験の運営は従来プラントとは異なり，共同企業体方式となったため，各社間で管理，調整を行う試験調整グループを組織し，試験の円滑な推進，問題点の解決の促進を図った。

### 3.2　起動試験結果

柏崎刈羽7号機で採用したインターナルポンプ，改良型制御棒駆動機構，制御棒操作の自動化機能，ヒータ ドレン ポンプアップ システムなどの新設計機器，新システム，および給水制御系2ループ制御，原子炉ドーム圧力制御などの新制御方式について，各出力段階でその制御性，信頼性を確認した。また，プラントの過渡試験では，プラントの挙動が所定の仕様を満足することを確認した。代表的な試験結果について以下に述べる。

(1)　制御棒操作の自動化

柏崎刈羽7号機では制御棒操作の自動化を採用し，プラントの起動から定格出力到達までの操作を大幅に自動化している。特に，制御棒操作の自動化は改良型制御棒駆動機構の採用によって最大26本の同時駆動が可能になり，臨界制御などが容易にできるようになった。制御棒操作自動化による臨界制御時のプラント挙動を**図4**に示す。臨界到達までの時間は約27分であり，従来の手動操作に比較して約半分の時間であった。

(2)　ヒータ ドレン ポンプ全台トリップ試験結果

給復水系の過渡試験の一つであり，原子炉側に外乱を与える高圧ヒータ ドレン ポンプ全台のトリップ試験を

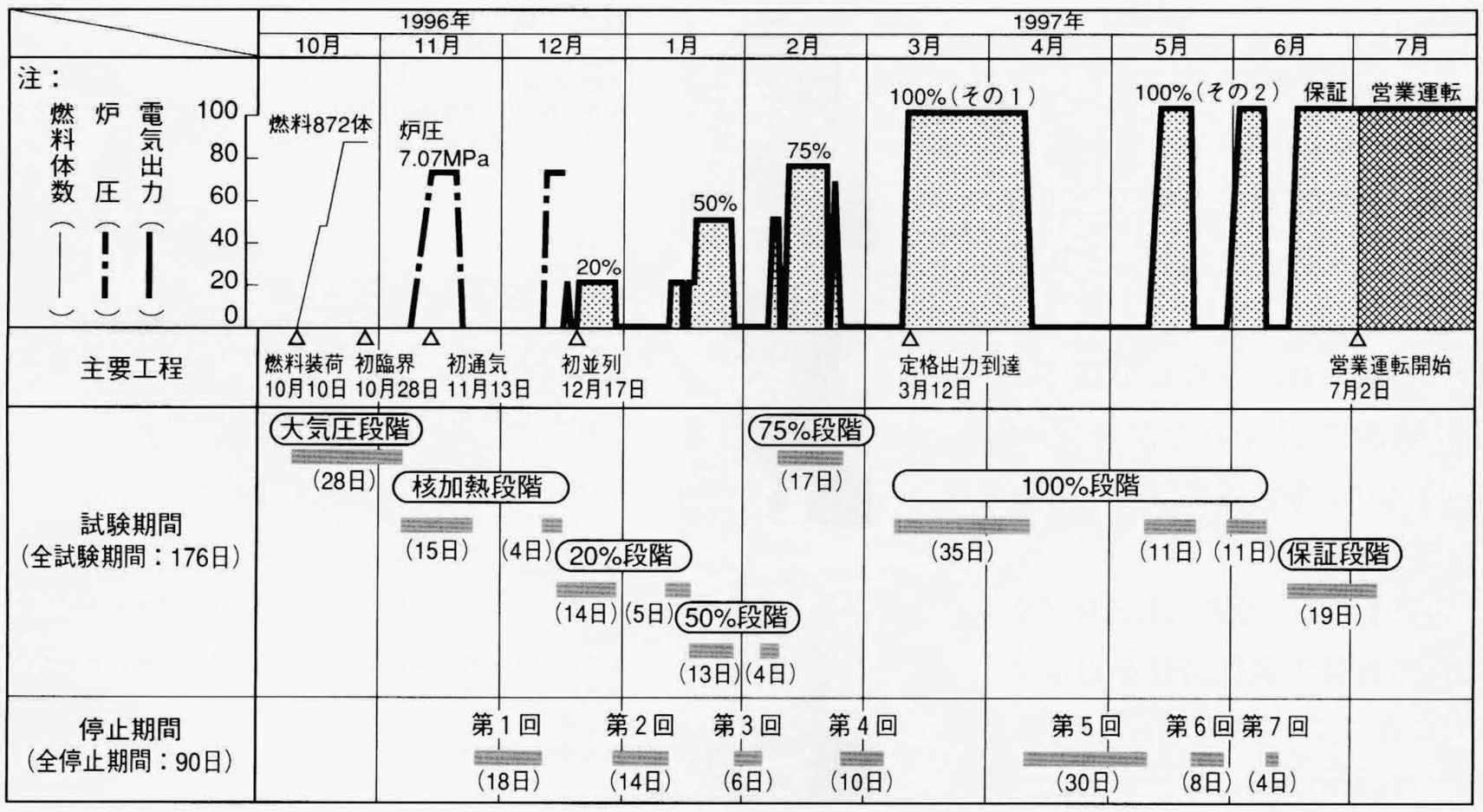



**図3　柏崎刈羽7号機の起動試験実績工程**

燃料装荷から8.8か月という短期間で起動試験を終えた。

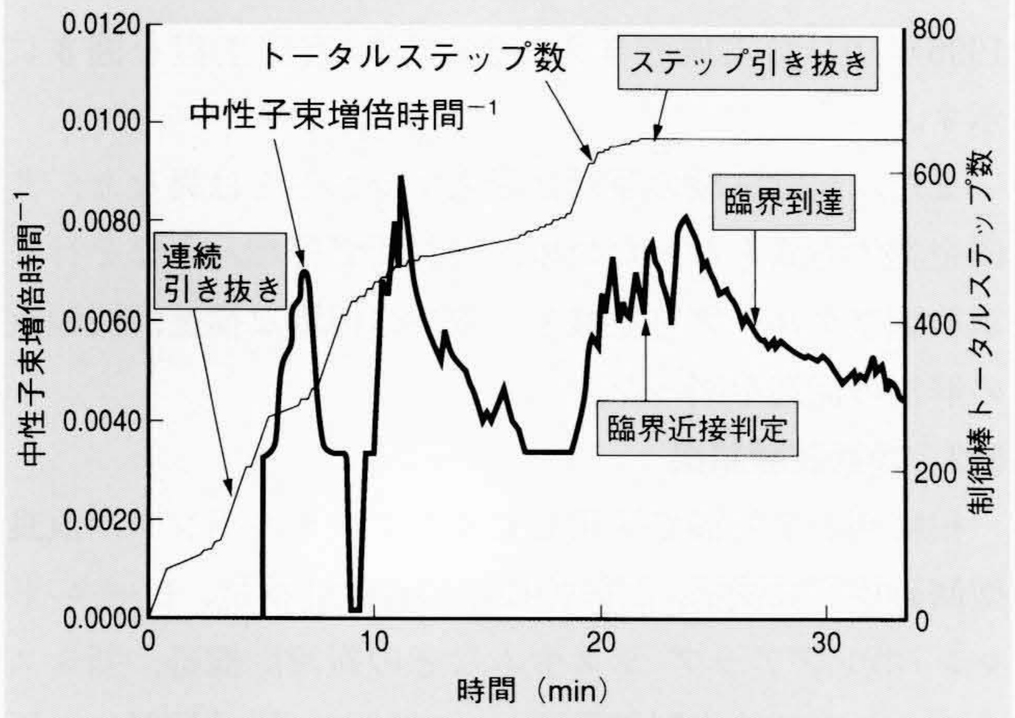



**図4　制御棒操作の自動化による臨界制御時の挙動**
最適な制御棒引き抜き制御により，約27分で臨界に到達している。

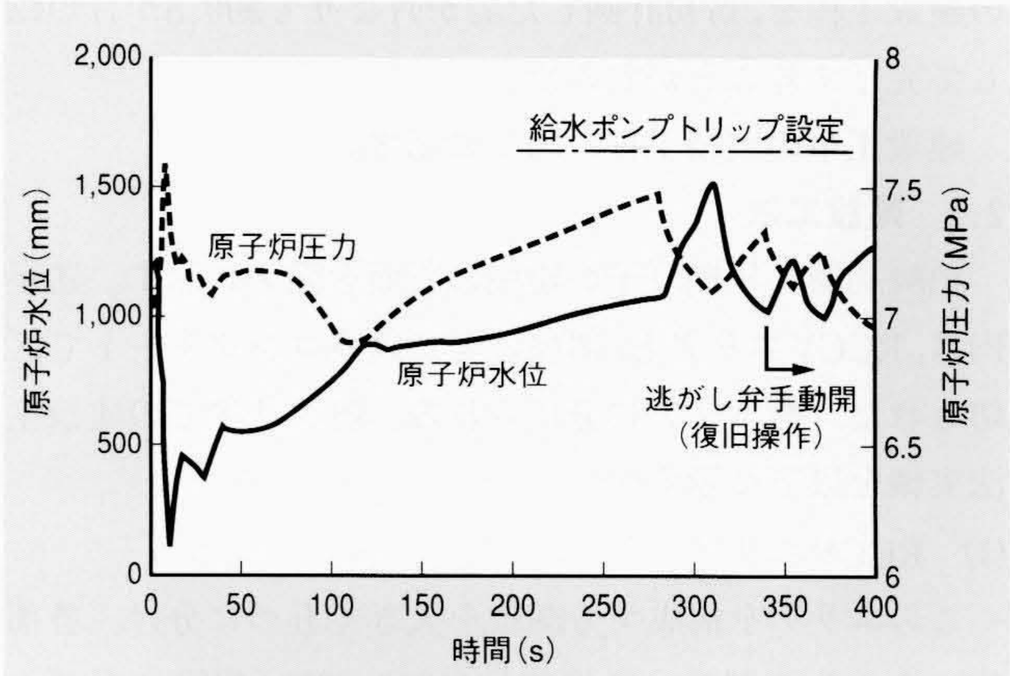



**図5　主蒸気隔離弁全弁閉鎖試験結果**
主蒸気隔離弁全弁閉鎖で原子炉はスクラムし，その後，給水ポンプ切替操作の自動化によって原子炉水位の最大値はトリップ設定水位以下に抑えられている。

定格運転状態で実施した。ドレンポンプの全台トリップによって原子炉給水ポンプが1台トリップし，原子炉の水位が低下する。しかし，インターナルポンプの速度を最低速度まで高速で下げることによってプラントは安定に整定し，原子炉が停止することなく運転が継続できることを確認した。

(3)　主蒸気隔離弁全弁閉鎖試験結果

原子炉にとって厳しい過渡試験の一つである主蒸気隔離弁全弁閉鎖試験を定格運転状態で実施した。主蒸気隔離弁の閉鎖で原子炉はスクラムし，発生蒸気によって原子炉圧力は上昇する。しかし，主蒸気逃がし安全弁の動作により，原子炉は徐々に減圧し，プラントは安定停止に向かうことを確認した。また，原子炉水位も安定に推移することを確認した。このときの原子炉圧力と原子炉水位の挙動を**図5**に示す。

## 4. おわりに

ここでは，ABWRの初号機である東京電力株式会社柏崎刈羽6，7号機のうち，特に7号機の建設実績と起動試験結果について述べた。

建設工程や起動試験工程については，さらに工程短縮が可能であり，また，起動試験で得られたデータはABWR初号機の貴重な財産となり，今後のプラントの安定運転の大きな支えになると考える。

今後は，これらの建設経験を生かし，次期ABWRプラントの計画に反映し，信頼性の維持と高経済性を追求するとともに，世界のABWRに育てていく考えである。

終わりに，柏崎刈羽6，7号機の建設にあたっては，東京電力株式会社の関係各位から終始ご指導をいただいた。ここに厚く感謝する次第である。

## 参考文献

1)　北村，外：大ブロック・モジュール工法によるABWR初号機の建設，日立評論，**77**，4，277～280(平7-4)
2)　後田，外：大ブロック・モジュール工法による原子力発電所の建設，配管技術，Vol.38，No.6(平8-5)

## 執筆者紹介

**北村一郎**
1964年日立製作所入社，日立工場 日立柏崎刈羽統括事務所 所属
現在，柏崎刈羽原子力発電所日立製作所統括業務に従事
溶接学会会員
E-mail：i_kitamura@cm.hitachi.hitachi.co.jp

**篠原　薫**
1973年日立製作所入社，日立工場 原子力プラントサービス部 所属
現在，原子力発電所の運転プラントの定期検査，予防保全のプロジェクト取りまとめに従事

**神田一郎**
1968年日立製作所入社，日立工場 品質保証部 所属
現在，原子力発電所の機器・システムの系統試験，起動試験の取りまとめに従事
E-mail：i_kanda@cm.hitachi.hitachi.co.jp

**後田孝一**
1979年日立製作所入社，日立工場 原子力プラント建設部 所属
現在，原子力発電所のプラントエンジニアリング分野の技術開発に従事
工学博士
日本機械学会会員