

ABWR初号機の運転と定期検査実績

—東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所6, 7号機—

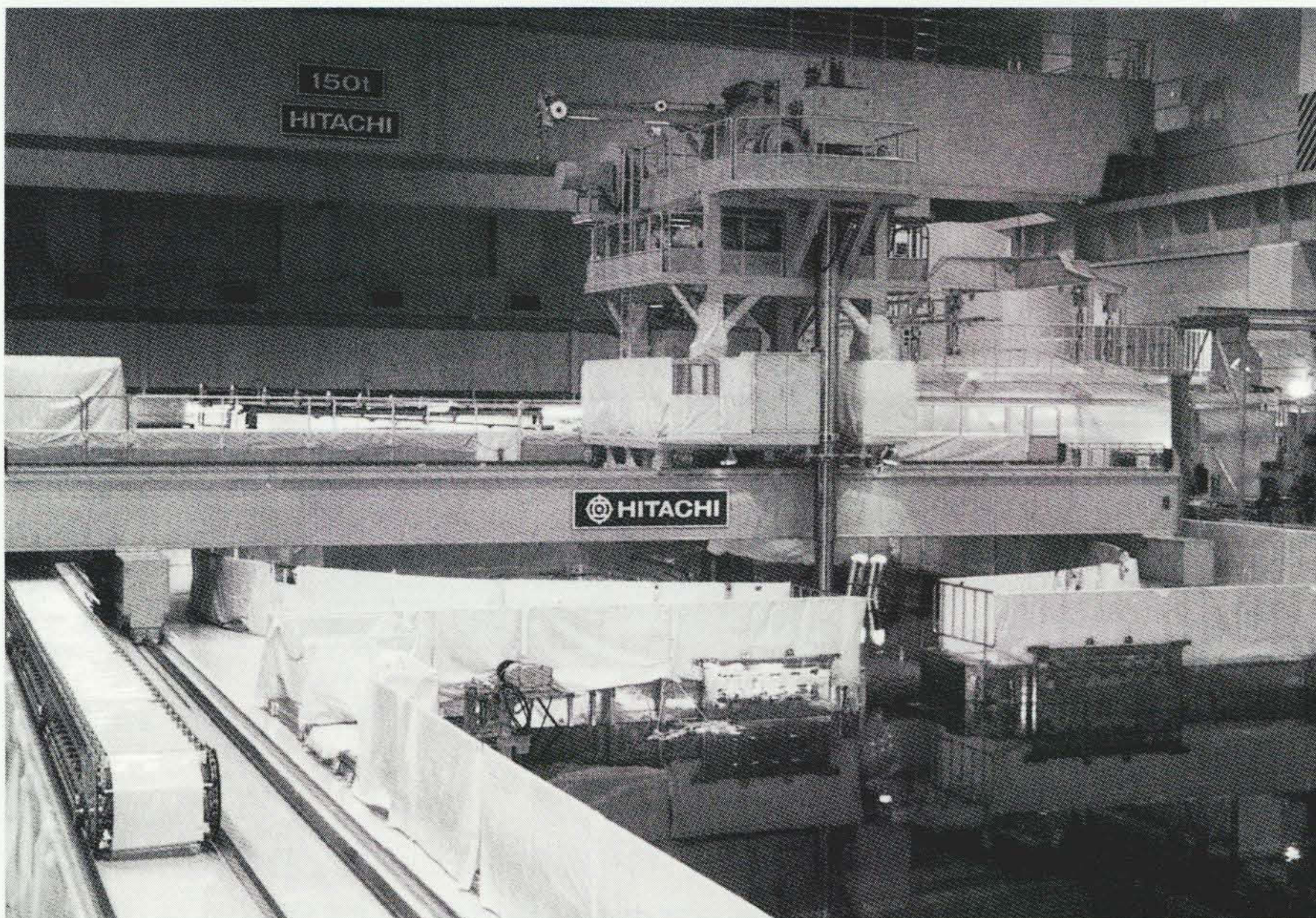
Operation and Refueling Outage Experience of the First Advanced BWRs

金井良吉 Ryôkichi Kanai

沼 純一 Jun'ichi Numa

篠原 薫 Kaoru Shinohara

矢吹直久 Naohisa Yabuki



東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機の定期検査実施状況(燃料取替機)

燃料取替機は、計算機直接制御により、(1)自動運転、(2)半自動運転、および(3)手動運転の3モードの運転方法から選定できるようになっている。燃料取替作業は主に自動運転モードで行われ、1日に約150本の燃料を取り替えることができる機能を持っている。

安全性、信頼性、および経済性のいっそうの向上を目指して建設された、ABWR(改良型沸騰水炉)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号機は、営業運転開始後、順調な運転を継続している。2000年11月末時点で、6号機が第4サイクルの、7号機が第3サイクルの運転中であり、いずれもその稼働率が高い値を示している。その間、ABWRに新たに採用された機器(インターナルポンプ、改良型制御棒駆動機構)も高い信頼性を示している。

定期検査については、6号機で3回、7号機で2回それぞれ実施している。定期検査期間は、第1回定期検査で55日、第2回定期検査以降は6号機が44日、7号機が45日で完了しており、高稼働率確保に寄与している。今後はさらに短い30日台前半での定期検査が可能になる見通しも得ており、いっそう高い経済性を確保できると考える。一方、定期検査時の線量当量も低い値に維持されており、7号機の第1回定期検査では、約150人・mSvときわめて良好な結果を達成している。

これらの実績・成果から、ABWRは、運転実績でも、その導入目的を十分に満足したプラントであることが実証されたと言える。

1 はじめに

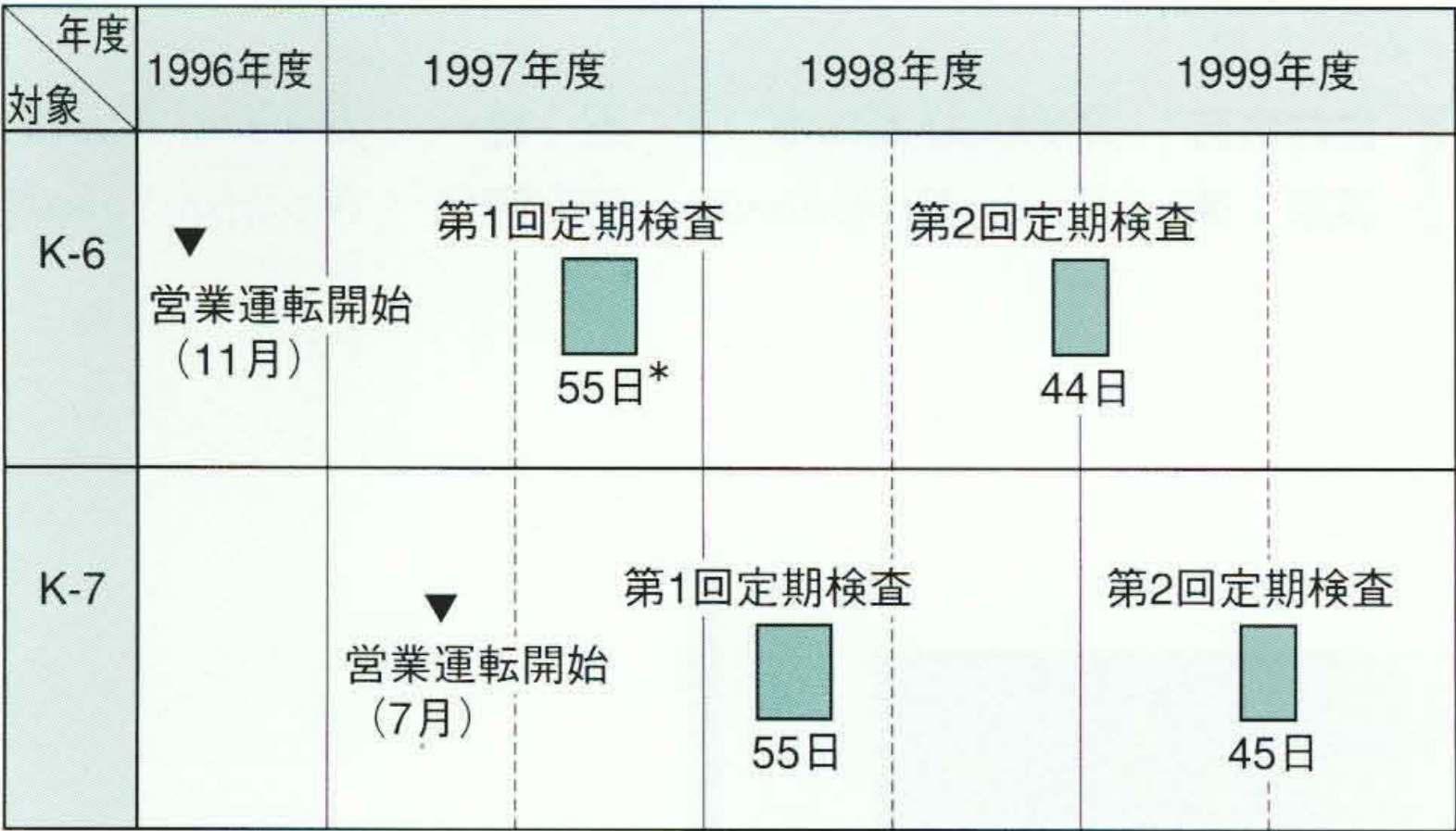
ABWR(改良型沸騰水炉)の初号機である、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所6号機と7号機(以下、それぞれK-6、K-7と言う。)は、営業運転開始後、順調に運転を継続している。

ここでは、K-6およびK-7の運転実績と定期検査実績を通して、ABWR導入の目的である、(1)信頼性の向上、

(2)運転・操作性の向上、(3)線量当量・廃棄物の低減、および(4)経済性の向上の項目で評価した結果について述べる。

2 運転実績

K-6およびK-7は、それぞれ1996年11月と1997年7月の営業運転開始後、年1回の定期検査を経て、2000年11月末現在で、K-6が第4サイクルの、K-7が第3サイクルの運



注：*年末年始休暇(6日間)を除く。

図1 ABWRの運転実績

K-6とK-7の営業運転開始時から1999年度末までのプラント運転状況を示す。

転中である。営業運転開始からの運転状況を図1に示す。それぞれの設備利用率は、営業運転開始から1999年度末までで、K-6は90.3%、K-7は85.8%であり、1999年度の全国平均80.1%を超え、順調な運転を継続している。

3 定期検査実績

当初、ABWRでは、定期検査期間の目標値として「標準55日、将来目標45日」が設定されていた。このため、定期検査に関するABWR特有の検討項目を摘出し、東京電力株式会社を中心に初回定期検査を目指して各種検討を進めてきた。

このような背景の下に、日立製作所は、K-6ではタービン設備、K-7では原子炉設備を中心にそれぞれ点検を実施した。この定期検査の実績について以下に述べる。

3.1 定期検査内容

定期検査では、従来型BWR(沸騰水炉)と同様に、各機器の点検周期を基本とした長期点検計画に従って各回の点検内容を決めている。新設計品を除き、各機器の点検項目は従来と変化なく、1定期検査当たりの点検作業量は従来型BWRと同等である。しかし、幾つかの機器では予備品を準備し、作業量の減少を図った。主要機器の点検概要と予備品準備状況を表1に示す。

3.2 定期検査工程

K-6、K-7はいずれも初回定期検査が55日、第2回定期検査では、K-6が44日、K-7で45日であった。この定期検査実績日数では、従来型1,100 MWe級BWRの従来の標準定期検査日数70数日に対し、約1か月短縮しており、設備利用率の向上に寄与している。初回定期検査では、タービン本体の全車室開放点検と発電機の本格点検を実施しており、作業量が多い分、定期検査日数も多くなっ

表1 定期検査作業概要

ABWR定期検査時の主要点検項目ごとの点検員数と予備品の準備状況を示す。

点 検 項 目		点 検 員 数		予備品
		第1回定検	第2回定検	
改良型制御棒 駆動機構	本体の分解点検	11体	10体	3体
	スプールピースの分解点検	21体	21体	21体
	モータの分解点検	21体	21体	21体
インターナルポンプ	本格点検	2台	2台	2台
主蒸気隔離弁	本格点検	4台	3台	2台
制御棒水圧制御 ユニット	パイロット弁の交換	21台	21台	21台
	アキュムレータの分解	15台	15台	—
RCWポンプ	本格点検	6台	6台	2台
主タービン	本格点検	4車室	2車室	—
主発電機	本格点検	1台	—	—
EHC	EHCサーボ弁の本格点検	11台	11台	11台
	EHCポンプの本格点検	1台	1台	1台
タービン主要弁	主蒸気止め弁の本格点検	4台	4台	—
	加減弁の本格点検	4台	4台	—
	中間阻止弁の本格点検	6台	2台	—
	タービンバイパス弁の本格点検	3台	3台	—
補 機 類	湿分分離加熱器の本格点検(本体)	2基	2基	—
	湿分分離加熱器の本格点検(加熱器)	1基	1基	—

注：略語説明

RCW(原子炉補機冷却系)、EHC(タービン電子油圧式制御装置)

ている。45日定期検査の実績工程を図2に示す。

3.2.1 原子炉設備工程

クリティカル工程の構成は、従来型BWRとほぼ同様である。ただし、インターナルポンプの「インペラ取り外し・取り付け作業」がクリティカル工程に入っているのが特徴的である。また、FMCRD(改良型制御棒駆動機構)の点検では本体の点検だけがクリティカル工程に入っており、スプールピース・電動機の点検は燃料装荷・シャッフリングと並行作業で実施している。

3.2.2 タービン設備工程

タービン本体2車室の開放点検を45日間で実施している。作業に当たっては、一部作業の2交替作業の実施や、オイルフラッシング装置の導入によるフラッシング期間の短縮などにより、工程短縮を図った。

3.2.3 定期検査期間短縮の検討

近年、電力自由化などの外的要因により、定期検査期間の短縮が要求されるようになってきている。このため、ABWRでも定期検査期間短縮の検討を進めている。その結果、以下に示すような対応を行うことにより、30日台前半の期間で定期検査が可能になることを確認した。

- (1) 予備品の充実
- (2) 機器点検周期の見直し(点検周期の延長)
- (3) 作業体制の強化

原子炉設備（クリティカル工程）

原子炉開放	燃料移動	RIP 取り出し	NS 取り出し	制御棒取り替え FMCRD 本体点検	LPRM SRNM 取り替え	燃料装荷	RIP 取り付け	炉心 確認	原子炉復旧	R P V H/T	RCCV 復旧	RCCV L/T	起動前 試験	系統構成	起動
						FMCRD スプールピース・ モータユニット点検									
4.5日	1.5日	2日	1.5日	5日	2日	7日	2日	1.5日	5日	1日	3日	2日	3日	1日	3日

タービン設備（タービン本体 2車室点検）

タービン分解と手入れ （ホーニングだけ3シフト制）	官庁 検査	本体組立	主タービン オイル フラッシング	EHC機能・ 復水器 インリーク	系統構成 起動試験
19日	1日	13日	3日	5日	4日

注：略語説明
RIP(インターナルポンプ)、NS(中性子源)、LPRM(局部出力領域モニタ)、SPNM(起動領域モニタ)、RPV H/T(原子炉圧力容器水圧試験)
RCCV(原子炉格納容器)、RCCV L/T(原子炉格納容器漏えい検査)

図2 定期検査工程実績

K-7の第2回定期検査(45日定期検査)の実績工程を示す。原子炉設備ではクリティカル工程を、タービン設備ではタービン本体の点検工程をそれぞれ示す。

(4) ち密な工程管理(時間単位の工程管理)

機器点検周期の延長については、インターナルポンプとFMCRDについて調査を実施中である。調査では、各定期検査ごとに分解点検を実施する各機器の消耗部品について寿命評価を行っている。この調査を今後とも継続することにより、各機器の点検周期延長の可能性を検討していく考えである。

3.3 ABWR特有機器の点検実績

3.3.1 インターナルポンプの点検

インターナルポンプの点検内容は消耗部品の交換と各部点検が中心であり、その点検周期は5年である。1回の定期検査で2台の点検を実施しており、これまでに10台中、4台の点検を完了している。具体的な点検内容としては、インペラシャフト取り外しによる外観点検と電動機の分解点検であり、その点検結果はいずれも良好であった。特に、第2回定期検査以降は、インペラシャフトの表面クラッド除去装置の導入を行い、外観点検精度の向上を図った。

インターナルポンプの取り外し・取り付け作業時間は1台当たり約30時間であり、当初の設計時間よりも少ない時間で作業を実施している。このうち、クリティカル工程に入っているインペラシャフトの取り外し・取り付け時間は1台当たり14時間であり、2台点検でクリティカル工程上4日間を要した。

3.3.2 FMCRDの点検

FMCRDは構造上大きく三つの部位(本体、スプールピース、電動機)に分かれており、その点検周期はおの異なる。本体は設計上メンテナンスフリーとなっているが、国内初の製品であることから、10年で $\frac{1}{4}$ 炉心(50体)の点検を行うこととした。その結果、第2回定期検査完了時で14体の点検を完了している。スプールピース・電動機の点検周期は10年であり、1回の定期検査でおのの21体ずつ点検を実施している。その結果はいずれも良好であった。

なお、FMCRD点検では作業時間短縮のために予備品導入を図っており、本体で3体、スプールピース・電動機で21台の予備品がある。このため、取り外し・取り付け作業だけが定期検査のクリティカルに影響する。この所要時間は1体当たり約5時間であった。

3.3.3 新型中央制御盤

ABWRでは、大型表示盤とフラットディスプレイのタッチ操作などを取り込んだ新型中央制御盤を採用している。また、安全系を含めて制御系の総合デジタル化が行われており、このような環境下での定期検査は従来経験していないものであった。そのため、(1) タッチ操作によるアイソレーション、(2) ソフトウェアロジックアイソレーション、および(3) プロセス計算機全停時の監視性の項目について、定期検査時に評価を実施した。

その結果、タッチ操作には問題なく、また、ソフトウェアアイソレーション(機器単品試験時の模擬条件入力)も1定期検査で約100回実施したにもかかわらず問題はなかった。プロセス計算機全停時(4日間)のプラント状態監視についても、大型表示盤とフラットディスプレイで十分に対応できた。ABWRのヒューマンインタフェースは従来型BWRと異なっているが、総合的に見て定期検査工程に影響を与えることはなかった。

3.4 定期検査時の線量当量

ABWRでは、インターナルポンプの採用による格納容器内雰囲気線量低減や、格納容器内原子炉浄化系の遮蔽実施などにより、定期検査時の線量当量を下げることが目標としてきた。

K-7の第1回定期検査では、これら施策の結果、線量当量を約150人・mSvと低く抑えることができた。特に従来型BWRと比較して、ISI(供用期間中検査)の原子炉再循環系点検などで、線量当量の低減効果が大きかった。

わが国の原子力発電所での第1回定期検査時の線量当量の比較を図3に示す。同図からわかるように、ABWRの定期検査時の線量当量は十分低く、当初の目的を達成したと言える。

また、ABWRに採用されている新設計品の点検も特に問題なく完了しており、今後ともプラントの安定運転に寄与できることが確認できた。さらに、定期検査時の線量当量として、定期検査時の最低レベルである約150人・mSvを達成することができた。この線量当量は、放

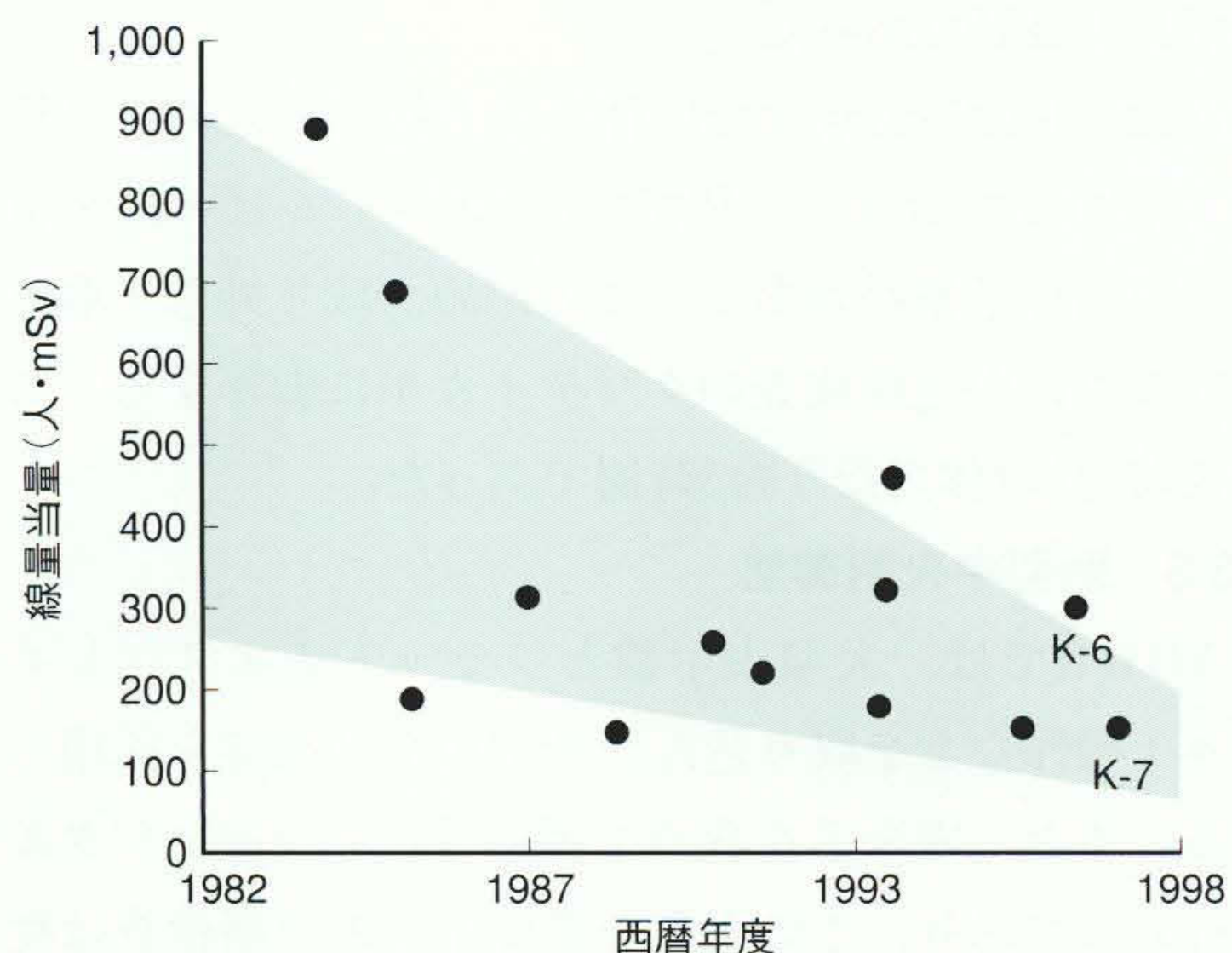


図3 原子力発電プラント第1回定期検査の線量当量の推移

近年のBWR第1回定期検査とABWR第1回定期検査の線量当量の推移を年代別に示す。ABWRの実績値が十分に低いことを示している。K-7第1回定期検査時の線量当量は、約150人・mSvと最も低いレベルを達成した。

射線業務従事者の年間個人線量当量限度50 mSvの3人分相当でしかなく、非常に小さいものである。

以上述べたように、K-6とK-7の運転・定期検査実績から、ABWRの導入目的は十分達成されたものと考ええる。

さらに、今後の定期検査でも、定期検査期間の短縮が可能となる見通しを得ており、ABWRの有効性はさらに高められていくと考える。

4 おわりに

ここでは、ABWR初号機の運転と定期検査実績について述べた。

ABWRでは、ここで述べた運転・定期検査を経て、高稼働率の確保と短期定期検査の可能なことが実証された。

このように、わが国初のABWRが営業運転開始以来、安定運転を継続していることは、東京電力株式会社をはじめとする関係各位のご指導とご協力によるものである。ここに深く敬意と感謝の意を表する次第である。

執筆者紹介



金井良吉

1974年日立エンジニアリング株式会社入社、日立製作所 電力・電機グループ 原子力事業部 日立生産本部 原子力サービス部 所属
現在、原子力発電所の定期検査取りまとめに従事
E-mail: ryoukichi_kanai @ pis. hitachi. co. jp



篠原 薫

1973年日立製作所入社、電力・電機グループ 原子力事業部 企画本部 サービスプロジェクト部 所属
現在、原子力発電所の定期検査、予防保全のプロジェクト取りまとめに従事
E-mail: kaoru_shinohara @ pis. hitachi. co. jp



沼 純一

1980年日立ニュークリアエンジニアリング株式会社入社、日立製作所 電力・電機グループ 原子力事業部 日立生産本部 原子力サービス部 所属
現在、原子力発電所の定期検査放射線管理取りまとめに従事
E-mail: junichi_numa @ pis. hitachi. co. jp



矢吹直久

1993年株式会社日立エンジニアリングサービス入社、日立製作所 電力・電機グループ 原子力事業部 企画本部 サービスプロジェクト部 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に従事
E-mail: naohisa_yabuki @ pis. hitachi. co. jp