

BWR, ABWR プラントの運転・保守支援

BWR and ABWR Operating Experience

永井 公夫
NAGAI Kimio

高山 義人
TAKAYAMA Yoshito

清水 俊一
SHIMIZU Shunichi

わが国の原子力発電所は、1969年に初めて運転が開始され、現在52基4,500万kWを超え、わが国の発電設備容量の約20%、発電量で約35%を占めるに至っている。また、発電所の安定運転の指標である設備利用率は、93年度以降つねに世界主要4か国(米, 仏, 独, 日)のトップを堅持し、95年度以降は80%以上を維持するまでに至っている。このうち、当社が運転・保守支援を行っている原子力発電所は19基あり、96年度に設備利用率86.4%を記録するとともに、95年から97年(暦年)の過去3年間平均のメーカー別設備利用率では世界第一位の地位である。

The first commercial operation of a nuclear power plant in Japan was in 1969. At present, there are 52 nuclear power plants operating in the country, accounting for about 35% of the total electricity generated and about 20% of the total capacity of electricity generation facilities in Japan. Moreover, Japan has had the highest facility utilization rate, which is an indicator of operational safety, among the top four nuclear-generation countries (U.S.A., France, Germany, and Japan) every year since 1993, and has maintained a utilization rate of more than 80% since 1995.

Toshiba has supported plant operation and maintenance in 19 nuclear power plants. The overall facility utilization rate of these plants attained a record of 86.4% in fiscal 1996. Furthermore, the averaged rates over the past three fiscal years from 1995 to 1997 have been the highest in the world among plant constructors such as GE, WH, and Siemens.

1 まえがき

当社は、69年の日本原子力発電(株)敦賀1号機の商業運転の開始から今日まで、沸騰水型原子炉(BWR: Boiling Water Reactor)および改良型沸騰水型原子炉(ABWR: Advanced BWR)運転プラントの信頼性向上、設備利用率の向上に努めてきた。

現在、わが国の原子力発電は、図1に示すように、52基となり発電電力量は4,500万kWを超え、総発電設備容量の約20%、発電量で約35%を占めるに至っている。このうちBWRは28基(ABWR2基を含む)となり、2,500万kWを超える電力を供給する設備容量となっている。このうち、当社は図2に示すように19基のBWRの建設に携わってきている。

ここでは、それらBWRの運転・保守支援の実績として、これまでに経験したBWR初期故障とその対策、発電所の設備利用率向上、信頼性向上のための東芝運転プラントサービス(TOPS_{TM})活動、そして日、米、欧のBWRメーカー5社により設計した世界の軽水炉の標準であるABWRの運転実績について述べる。

2 BWRの運転実績

70年から現在までの当社納入のBWR・ABWRプラントの運転実績として、図3に設備利用率の推移を示す。以

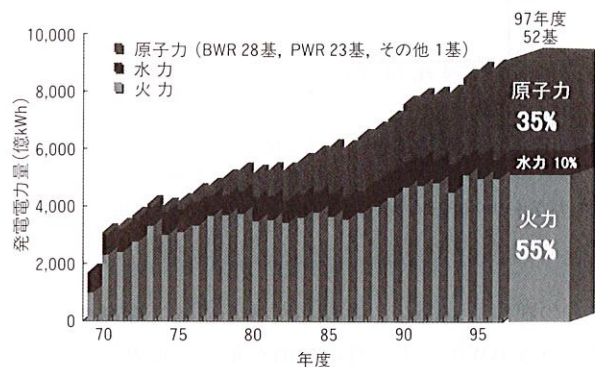


図1. 原子力発電の発電電力量への寄与率の推移 原子力発電所は97年度現在52基となり、総発電電力量の35%を占めている。

Trends in total power generation and nuclear power generation in Japan

下、年代ごとの主要な変遷を紹介する。

70年代は、74年9月に米国のドレスデン2号機で発見されたオーステナイト系ステンレス鋼配管の応力腐食割れ(SCC)が国内を含めBWR共通の問題となった。また、同時期に起こった中性子計装管の流体振動による燃料チャンネルの摩耗(CW)などのトラブルがあった。これらの対策のため、BWR設備利用率が一時50%を割るまでに落ち込むという時期を経験している。

80年代に入ると、SCC、CWなどBWR初期故障は解決され、設備利用率は順調に回復していった。このころか

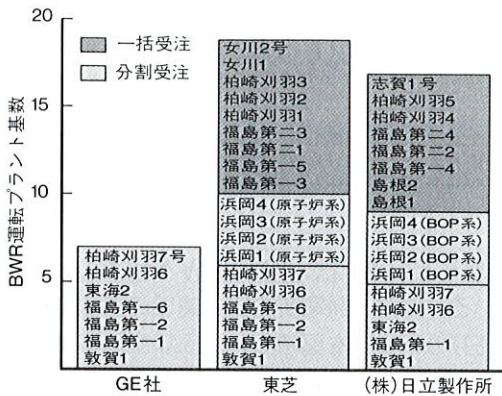


図2. BWRプラントのメーカー別シェア わが国のBWRプラント建設における現在のメーカー別シェアで、当社が第一位を占めている。

Market share of BWR nuclear power plant construction

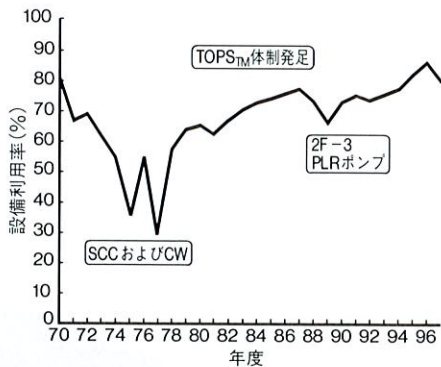


図3. BWR設備利用率の推移 70年度から現在までのBWRプラントの設備利用率の推移を示す。近年は80%を超えている。

Trends in BWR nuclear power plant facility utilization rate

これらの課題を克服し、蓄積してきた研究・開発の成果や世界にあるBWRのより良い技術を集め、世界の軽水炉の標準を構築するための国際設計チーム(日、米、欧のBWRメーカー5社)によるABWR概念設計の研究が開始されている。

また、当社は納入したBWRプラント基数の増加に対応し、運転・保全サービス活動を積極的に展開していくことを目的として、79年度にTOPS™体制を発足させた。TOPS™は、電力会社の運転・保守活動を支援するとともに、プラント設備の信頼性向上、設備利用率向上、被ばく低減および定期検査(定検)期間の短縮などの観点からの改善策を提案し、プラント設備の改良と安定運転に寄与する活動を展開した。この間、設備利用率は、80%に近づくまでになったが、89年に発生した福島第二原子力発電所3号機の原子炉再循環(PLR)ポンプ水中軸受の破損によるトラブルにより、一時70%を下回る時期を経験した。

90年代は、PLRポンプのトラブルも克服し、80%を

超える設備利用率を達成して現在に至っている。また、BWRスクラム回数についても、80年ころから着実に減少しており、近年は1回/年を下回る状況となっている。

2.1 BWR初期故障への対応

2.1.1 応力腐食割れ(SCC)

SCCは、高純度のBWR炉水環境下で、一般に使用されているステンレス鋼の溶接熱影響部に欠陥が発生する事象である。この問題に対応するため、76年に米国GE社、(株)日立製作所、東芝による共同研究が実施されている。一方、運転プラントに対してはSCCの発生防止を目的に、プラント起動時に炉水温度が上がらないうちに水中の溶存酸素を除く脱気運転、あるいは配管内面の溶接熱影響部に溶接肉盛りを施すWB工法(Weld Battering, 後にCRC:Corrosion Resistant Claddingと改名)などの対策を実施している。

また、上述の共同研究によりSCCの発生メカニズムが解明され、その対策として既設の大口径管の予防保全対策(IHSI工法: Induction Heating Stress Improvement工法)の実施、改良型オーステナイトステンレス鋼の開発、欠陥を生じない溶接法としての自動溶接の開発、および供用期間中検査(ISI)の強化のための超音波探傷技術の開発と適用を積極的に進め、電力会社の指導の下に、SCC問題の早期解決を達成している。

2.1.2 燃料チャンネルの摩耗(CW)

CWは、当社が実施した中性子束の雑音(ノイズ)解析データに異常なノイズが観測されたことから発見されたものであり、中性子計装管の流体振動による事象であることが解明され、この防止策について実験と解析を進めた。この結果、流体振動の原因となる炉心支持板の穴をふさぎ、代わりに燃料の下部タイプレートに小穴を開けることにより解決できることを明確にするとともに、穴明け加工法として水中放電(EDM)加工法を採用し、CW問題の早期解決を図っている。EDM法は、その後の炉内の各種加工に威力を発揮している。

2.1.3 PLRポンプ水中軸受の破損

この事象は、PLRポンプの水中軸受リングが脱落し、その状態でポンプを回転させたため、脱落したリングがポンプインペラを摩耗し続け、ステンレス鋼の切粉・摩耗粉を炉内に流入させてしまったものである。原因究明のため、モックアップ試験と解析を実施した。この結果、インペラ出口の脈動が水中軸受リングの上下に微小の変動差圧を発生させ、これがリングの固有振動数と共振して、リングの溶接ルート部にわずかな応力を生み、隅肉溶接部の溶込み不足部から疲労破壊に至ったものであることが明らかになった。水中軸受を完全溶込み溶接または溶接部をもたない一体遠心構造型に交換するなどの対策を施し解決を図っている。

2.2 東芝運転プラントサービス(TOPS™)活動

運転プラントの増加に応じ、プラント保守体制の強化、

トラブルに対する積極的対処など危機管理の立場からも運転プラント対応が必要となり、79年度から図4に示す体制の下、TOPS™活動が始まった。ここでは、この体制のプラント改善チームの下に実施してきた設備改良と現地作業実施部門の現地運転サービス活動について述べる。

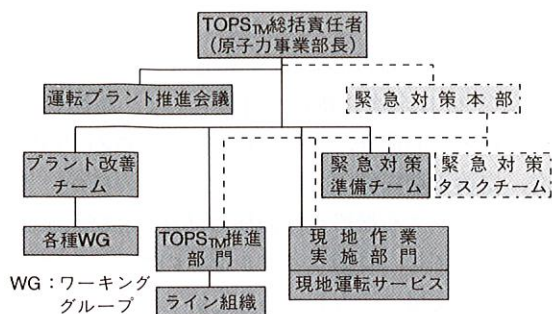


図4. TOPS™ 活動体制 本社、現地スタッフおよびライン組織などが横断的に活動している。

Structural diagram of TOPS™ activities

2.2.1 設備改良 SCC, CW のBWR 初期故障の解決を図るとともに、BWRの信頼性向上、稼働率向上、および作業員の被ばく低減などの軽水炉開発の自主技術確立していくことを目標に、75年から軽水炉改良標準化計画をスタートさせている。この中で、改良標準化項目が抽出され、当社も広範囲の技術分野で改良案を提示し、実機に適用している。

以下、主要な改良項目を設備別に紹介する。

- (1) 炉内構造物 図5に、炉内構造の主な設備改良項目を示す。炉内構造物では、炉内の流動振動対策とし

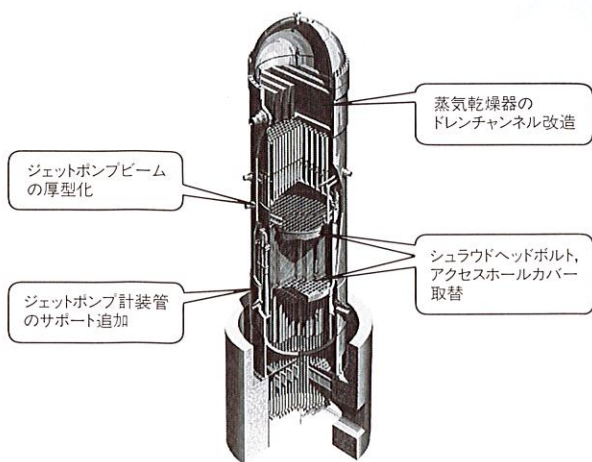


図5. 炉内構造物の設備改良 当社が提案し、実機にも適用されている炉内構造物に関する主な設備改良の実績を示す。

Examples of design enhancement of reactor structure components

て①蒸気乾燥器ドレンチャンネルの改造(小型化)、②ジェットポンプ計装管のサポート追加による振動低減、また、シュラウドなどの応力腐食割れ対策として③ジェットポンプビームの厚型化による応力低減、④シュラウドヘッドボルトおよびアクセスホールカバーの取替(すき間のない構造への変更)などが挙げられる。

- (2) 原子炉機器・配管の設備改良 原子炉機器では①原子炉再循環ポンプの新型ケーシングカバーによるシャフトの熱疲労対策、②残留熱除去熱交換器の化学除染による被ばく線量低減のための管束取替、配管では③小口径配管の振動対策のための溶接方法の変更、④被ばく低減対策として原子炉再循環系配管取替などを実施している。
- (3) タービン系機器の設備改良 タービン・発電機(T/G)は①低圧タービンロータの応力腐食割れ対策としてのキー溝削除による一体化、②T/Gのロータ径細胴化による翼軸連成振動対策、③固定子コイルの診断のためのキャパシタンス測定ロボット開発、また、補機・配管では減肉対策として、④低合金鋼などを採用した給水加熱器の取替え、⑤配管減肉(傾向)管理などを実施している。

2.2.2 現地運転サービス活動 当社が関係する6サイト(女川、第一福島、第二福島、柏崎、浜岡、敦賀)のそれぞれに、原子炉の運転、タービンの運転、電気、計装、機械の各専門家を派遣している。現地では、プラントの状態監視・診断、パトロール業務、客先の運転保守で生じた技術的問題の検討評価、プラント異常発生時の初期調査および初期対応策の提案などを行うとともに、ネットワーク(フレームリレー網)を通し、サイトから当社の磯子エンジニアリングセンター(IEC)にプラントの運転状況、客先情報その他を日報として日々伝送し、本社設計部門とつねに情報を共有化している。

- (1) プラント状態監視診断 各プラント常設のプロセス計算機(PLADIS™)を用い、原子炉系、タービン系の主要信号の長期傾向、突変(突然の変化)、相関などを監視し、機器の性能変化や各信号の前サイクルとの違いを評価している。
- (2) パトロール 定期的にプラント内をパトロールし、現場機器の振動、温度、騒音などを測定し、ハンディターミナルなどに入力し管理することで前回のパトロール時との違いを評価している。

なお、(1)、(2)の監視業務により事故・故障を未然に防ぎ、客先から表彰されている。

- (3) プラント異常発生時の技術支援 プラント異常発生時の初期調査および初期対応の検討について支援を行い、必要に応じて社内の連絡調整を図りその対応を

行っている。また、他のプラントにおける故障・トラブルに関し水平展開などを行うとともに、必要に応じ客先の技術支援を行っている。

3 ABWRの運転実績

ABWRである東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所6、7号機(K-6、K-7)は、96年11月に6号機が、その約1年後の97年7月に7号機がそれぞれ営業運転を開始し、現在まで第一回定検も含め高設備利用率を維持している。ここでは第1サイクルの運転実績について、表1および図6に示すBWRとの比較を例に紹介する。ABWRの特徴である原子炉内蔵型再循環ポンプ(RIP)、改良型制御棒駆動機

表1. BWRとABWRの運転実績比較例(第2サイクル開始まで)
Examples of comparison of BWR and ABWR operating experience

	BWR (110万kW級)	ABWR (136万kW級)
熱効率(%)	約33.4	約35.5~35.7
定検期間(日)	約76	約55~61
設備利用率(%)	約83.7	約85.6~86.1

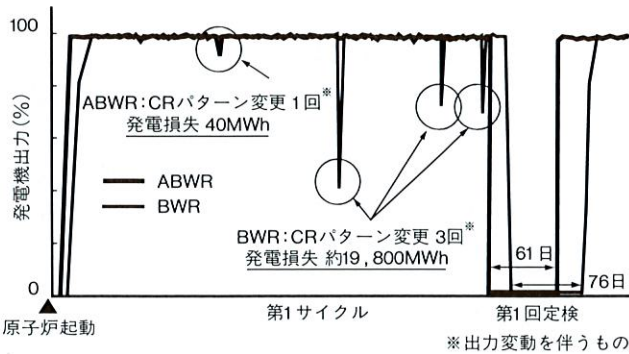


図6. 代表的なBWRとABWRの運転実績比較例 発電機出力による運転実績の比較で、ABWRがBWRを上回る設備利用率を達成している。

Examples of comparison of typical BWR and ABWR operating experience

構(FMCRD)の採用による自動化範囲(出力自動制御範囲)の拡大などによる起動時間の短縮や湿分分離加熱器(MSH)、52インチ翼などの熱効率向上による発電損失の低減、定検ジグの改良などによる定検日数の削減によりBWRを上回る設備利用率を達成している。

4 あとがき

今後は、平均設備利用率85%の達成と維持、24か月運転、および20日定検を新たな目標として、高燃焼対応のための燃料・炉心開発、高経年化対応のための炉内保全技術開発、定検工期短縮化のための設備改良のほか、オンラインメンテナンスや機器点検周期の延長および状態監視保全の導入を目指し、長期サイクル運転の実現、合理的な定検工程の策定支援に注力していきたいと考えている。

以上の技術開発、新たな目標の達成に向けて、関係各位のなおいっそうのご指導、ご協力をお願いする次第である。

文献

- 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編、原子力発電所運転管理年報平成8年度版。
- 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編、'98原子力発電その必要性と安全性(1998)。



永井 公夫 NAGAI Kimio

原子力事業部 原子力運転プラント設計部部長。
BWR原子力発電プラントの配置、配管設計業務に従事。
日本機械学会会員。
Nuclear Energy Div.



高山 義人 TAKAYAMA Yoshito

原子力事業部 原子力運転プラント設計部課長。
BWR原子力発電プラントの試運転業務に従事。
Nuclear Energy Div.



清水 俊一 SHIMIZU Shunichi, D.Eng.

原子力事業部 原子力運転プラント設計部主査、工博。
BWR原子力発電プラントの保全情報管理業務に従事。
日本原子力学会、日本設備管理学会会員。
Nuclear Energy Div.