連載
講座軽水炉プラント
—その半世紀の進化のあゆみ第12回 日本の軽水炉開発(6)
—第2次改良標準化計画(BWR)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 吉川和宏, 守屋公三

I. はじめに

連載講座第10回では、国内における改良標準化計画の概要ならびにBWRの第1次改良標準化について取り上げた。今回は、引き続き実施された第2次改良標準化について、BWR設計の観点から説明する。

II. BWR 第2次改良標準化計画

1. 第1次改良標準化から第2次改良標準化へ

昭和50年度から昭和52年度にかけて実施された第1次改良標準化計画により、第1次標準化プラントは従業員の作業性、被ばくおよび信頼性の面で従来プラントに対して大幅な改善を達成することができた。第2次改良標準化は引き続き昭和53年度から昭和55年度にかけて実施されたもので、第1次改良標準化の成果をベースに、機器・システム等に更に改良を加えるとともに、標準化範囲の拡大等を行うことで「日本型軽水炉」を確立することを目的として掲げていた。第1表に第2次改良標準化計画における目標を示す。以下、改良策と標準化それぞれ

第1表 第2次改良標準化目標

	従来のプラント	第1次標準化プラントの推定	第2次改良標準化の目標
信頼性	一部のプラントで要補修箇所有	ノートラブル	ノートラブル
定期検査日数	90~100日 (補修工事がない場合)	85日程度	70日程度
稼働率	プラントによりかなり異なる	75%程度	80%程度
時間稼働率		70%以上	75%以上
設備利用率			
従業員の被ばく	(100%とする)	65~75%	30~50%

について述べる。

2. BWR 第2次改良

改良計画については、昭和52年度に策定された第1次標準プラントをベースとして、機器システムにさらに改良を加え、プラントの一層の信頼性確保、トラブルの根絶、稼働率向上、被ばく低減を図るための改良が進められた。主なものを以下に挙げる。

(1) 燃料および炉心設計等の改良

当時、すでに燃料破損の発生はほとんど見られなくなっており、燃料および炉心設計等については、稼働率向上の観点からの改良が行われた。

(a) 燃料の改良

燃料改良の一つとして、加圧燃料の実用化研究を進めた。これは燃料棒内の封入ガスを加圧してギャップ熱伝達を良くし、ペレット温度上昇を低く抑えることでペレット-被覆管作用(PCI)を低減した燃料であり、健全性に対する裕度を増すことが可能となった。また被覆管やペレットの改良についても、照射試験等を実施して引き続き検討を続けることとした。

(b) 炉心設計の改良

制御棒先端部の改良(ステンレス鋼製のグレーノーズを設置し、制御棒挿入時の出力の急激な変化を抑制)、

LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century—(12): Light Water Reactors Development in Japan⑥; Improvement and Standardization of BWR (Second step): Kazuhiro YOSHIKAWA, Kimiaki MORIYA. (2008年 7月15日 受理)

各回タイトル

第1回 原子力発電前史

第2回 軽水型発電炉の誕生

第3回 日本の研究用原子炉の始まり

第4回 日本の原子力発電の始まり

第5回 米国および日本の軽水炉の改良研究(PWR)
— Shippingportから美浜1号機まで

第6回 軽水炉の改良研究(BWR)
— ドレスデンから敦賀1号機まで

第7回 日本の軽水炉開発(1)—軽水炉の導入(PWR)

第8回 日本の軽水炉開発(2)—軽水炉の導入(BWR)

第9回 日本の軽水炉開発(3)—PWRの改良標準化①

第10回 日本の軽水炉開発(4)

—第1次改良標準化計画(BWR)

第11回 日本の軽水炉開発(5)—PWRの改良標準化②

炉心の出力分布の平坦化等による熱的余裕の増大や、燃料ならし運転(PCIOMR)の見直しといった稼働率向上に向けた取組みを実施した。また新型8×8燃料集合体や後述する高速スクラム等の採用を検討し、運転裕度の拡大の見通しを得た。

(c) 制御棒駆動機構(CRD)の改良

従来の水圧式CRDを一部改良し、スクラム速度を早くした高速スクラムCRDを実用化した。第1図に高速スクラムCRDの概念構造図を示す。これにより、プラント過渡応答時の炉心制御特性上の余裕を増加させることが可能となった。また、高速スクラム機能に加えて、通常時駆動を電動機で行い1ノッチ間隔を従来より1桁小さくする新型CRDの開発にも着手した。これが後にABWRにて採用されるFMCRD(Fine Motion CRD)の開発へとつながっていく。

(2) 応力腐食割れ(SCC)対策

第10回講座でも述べられたように、BWRプラントのオーステナイト系ステンレス鋼に生じた粒界応力腐食割

れは、材料の鋭敏化、応力および環境因子が重畳したときに起きるものとされており、その要因の解明および対策が急務となっていた。その対策として、第1次改良標準化における取組みに引き続き、次のような材料の変更、施工方法の改善・環境の改善を行った。

(1) 材料の変更：低炭素ステンレス鋼、炭素鋼への変更

(2) 施工法の改善：内面水冷溶接法、内面肉盛溶接法、溶接後固溶化熱処理、高周波誘導加熱による溶接残留応力改善法

(3) 環境の改善：起動時の脱気運転

(3) 定期検査の効率化

当時、我が国の定期検査工程は不具合箇所のない通常の定期検査においても90日以上を要しているのが実情であり、第1表に示す第2次改良標準化の目標(75～80%程度の稼働率および50%の被ばく低減)の達成は困難ではないかという見方もあった。そのため、稼働率の一層の向上のために、欧米の設備も参考にしながら定期検査

第1図 高速スクラムCRDの構造概念図

のクリティカルパス作業を中心として以下のような改良策を実施した。

- (1) 原子炉压力容器蓋の開閉：シングルスタッドテンションによる自動化
 - (2) 燃料シッピング：シッパーキャップの改良(取扱燃料の増加)およびサンプリング装置の自動化
 - (3) 燃料交換：計算機の高度利用等による燃料交換機のスPEEDアップ
 - (4) CRD：装置の位置決めおよびCRDマウンティングボルトの自動着脱が可能なCRD自動交換機の採用
 - (5) LPRM(局部出力領域モニタ)：原子炉内に設置されているLPRMの交換作業の改善
- (4) 被ばく低減策

定期検査における被ばく低減策としては、環境の放射線レベルを下げるのと同時に、被ばく線量の多い作業について次のような一層の改良を行った。

- (1) ISI(供用期間中検査)の効率化：ISI装置の自動化範囲拡大および検査結果のデータ処理自動化
- (2) Co(コバルト)フリー代替材の開発：プラント停止時の表面線量を低減するために、制御棒のピン・ローラー等についてCoフリー代替材を実用化
- (3) 核種分析の自動化：排気筒中希ガス等の自動分析装置を開発
- (4) 弁グランド部の改良：耐漏えい性にすぐれ、弁グランド部を小型にできる黒鉛系パッキンを改良

3. BWR 第2次標準化

(1) 設備の標準化

標準化設計については、昭和52年までに第1次標準化としてプラントの主要な基本仕様を取りまとめており、安全設計を中心として、基本的な設計方針、基本仕様、主要配管・機器を含む主系統の基本系統図について基本設計を行っていた。これに引き続く第2次標準化では、浜岡3号機(MARK-I改良型格納容器)、福島第二2～4号機(MARK-II改良型格納容器)設計をベースに標準化の見直し、検討を実施した。標準化範囲は原子炉格納施設、原子炉補助設備およびタービン設備等の主要な設備にまで拡大され、標準化制約因子の調査に基づく対応策検討から設計方針、主要系統構成などを中心に標準化の検討を進めた。

(2) 建屋基本配置および機器配置の標準化

我が国の場合、原子力発電所の立地点ごとに敷地・地盤条件が著しく異なるため、原子力発電設備全体の標準化は困難であるが、建屋形状および機器・設備について最低限の設計の基本方針およびその概念設計の標準化を行うことで、配置設計についても標準化への挑戦が行われた。建屋基本配置の考え方を第2図に示すが、原子炉建屋、タービン建屋の基本型を組み合わせ、考えられる建屋配置を想定し、これに対する機器配置の標準化をベースプラントについて進めていった。例えば原子炉格納容器(PCV)内配置計画においては、耐震性、保守点検性および配管応力上の妥当性の検討を通して、PCV内の総合的な保守点検性向上につながる改良策(主蒸気管、給水配管ヘッダーおよびペネトレーション位置の分離、PCV内空調機器(HVH)の上下方向の分離、主蒸気隔離弁分解・搬出入用モノレールの設置等)が具体化され、従業員の被ばくおよび作業性が従来のPCV内作業

第2図 建屋基本配置の考え方¹⁾

に比べて格段に改善された。

4. 工事計画認可関連事項の標準化

原子力発電設備設計の標準化は、工事計画認可関連事項の標準化を可能とする。すなわち、第1号標準プラントの審査が行われた後は、第2号以降のプラントについては設置許可時の審査と同様に、第1号プラントと異なる点を重点的に審査する等、審査の効率化が図れるとともに、申請者が異なる場合であっても審査の要点が過不足ない水準に保たれることが可能となる。これにより、工事計画認可申請から運転開始までの期間の短縮が期待できる。このような観点から、昭和53年度から標準プラントに係る工事計画書(設備区分の基本方針、計画書フォーマットの標準化)および添付書類(基本方針、計算書フォーマットの標準化)の標準化の検討が進められた。

Ⅲ. おわりに

以上、主にBWR設計に重点を置いて、昭和53年度から昭和55年度にかけて実施された第2次改良標準化につ

いて述べた。本計画の成果は、昭和56年度以降設置許可申請されたプラントに適宜反映されるとともに、当時建設中あるいは建設準備中であったプラントにも可能な範囲で反映された。そして、この改良標準化計画の成果を踏まえながら、更なる信頼性の向上、定期検査の効率化、従事者被ばく低減を進める第3次改良標準化計画が、翌年度(昭和56年度)よりスタートしていくのである。

—参考文献—

- 1) 軽水炉改良標準化計画総合資料集, 通産省資源エネルギー庁原子力発電課, (1985).

著者紹介

吉川和宏(よしかわ・かずひろ)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株)
(専門分野/関心分野)BWR 原子炉廻り系
統設計/将来炉設計や既設炉の Power
Uprate

守屋公三明(もりや・くみあき)

本誌, 50〔5〕, pp.317参照。

学会誌アンケートシステムのご案内

編集委員会では、多くの読者からのご意見をうかがうため、学会のホームページを利用した Web アンケートを導入しております。学会誌に関する感想や意見をお寄せください。

学会誌では Web 上で回答いただいたデータをもとに、記事の方向づけを進めていく方針です。

＜アンケートの回答方法＞

- ① 学会誌評価専用の Web サイト (<http://genshiryoku.com/enq/>) を開いてください。
ここでは、過去 2 か月の学会誌を選択することができます。評価していただく号をクリックしてください。
- ② 当該号の記事が表示されましたら、それぞれの記事について 5 段階で評価をお願いいたします。この際、一部の記事に対する評価だけでも構いません。
さらに『次へ』をクリックしてください。
- ③ 学会誌全体に対する評価や意見、今後掲載を希望する記事、編集委員会への要望などを記入できる画面が表示されます。回答は意見のある項目のみで結構です。
記入されましたら『次へ』をクリックしてください。
- ④ あなたご自身についておうかがいする画面が表示されます。ここでいただいた情報は、アンケート結果を全体で集計する際にのみ、限定して使わせていただくものです。
- ⑤ 『送信』をクリックすると、終了です。

・②, ③のページでは、途中まで入力した回答の内容を保存することができます。詳しくは②, ③ページ目の下部にある説明をご覧ください。

・個別の記事について、意見や要望を記入できるページもご用意しております。②のページの理由・コメント欄の『回答する』をクリックしていただくと、記入画面が表示されます。こちらにもご回答していただければ、学会誌の方向づけに役立つことができると編集委員会では考えています。