



## 短工期・低被ばくで完遂した 世界初 PWR 炉内構造物の一体取替え工事 (CIR)

### World's First All-in-one-piece Extraction and Replacement Work of PWR Reactor Internals

内山 純一<sup>\*1</sup> 大内 博史<sup>\*2</sup> 安食 和英<sup>\*3</sup>  
Junichi Uchiyama Hiroshi Ouchi Kazuhide Ajiki  
西岡 嘉生<sup>\*4</sup> 玉置 廣紀<sup>\*5</sup>  
Yoshio Nishioka Hiroki Tamaki

#### 1. はじめに

当社は、四国電力(株)伊方発電所1号機において、世界で初めて、加圧水型原子炉(PWR)の炉内構造物(CI)(タイトル写真、図1)を一体で取り替える工事を完了した。さらに、引き続いて九州電力(株)玄海原子力発電所第1号機、及び伊方発電所2号機において同一の取替工事を実施した。本取替工事は、高燃焼度燃料の採用に伴う制御棒増設への対応と、炉内構造物を構成するボルト(パッフルフォーマボルト)の海外での損傷事例を受けた予防保全対策及び信頼性向上のために実施した。

運転開始後約20年を経過して放射線量の高い炉内構造物(旧CI)、すなわち上部炉心構造物(UCI)及び下部炉心構造物(LCI)を気中にて一体で専用鋼製保管容器に収納し撤去した後、最新の標準型2ループプラントを基本として設計を行った炉内構造物(新CI)を既存の原子炉容器(RV)内に高精度で据え付け、

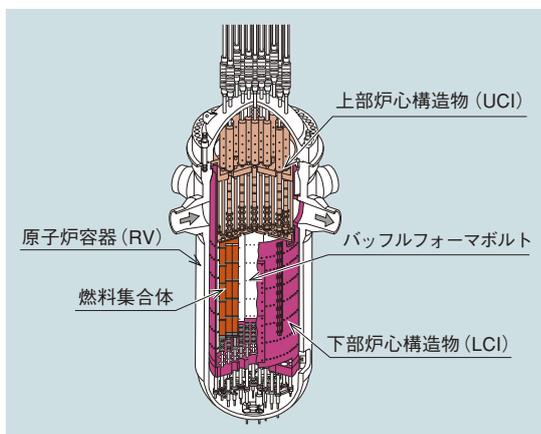


図1 PWR 炉内構造物 PWR 原子炉容器、及び炉内構造物(上部炉心構造物、及び下部炉心構造物)の全体構造。

初期プラント建設時と同等の設置状態に復旧した。

#### 2. 炉内構造物の取替えについて

CI 全体取替えの事例は、沸騰水型原子炉(BWR)では国内外で幾つかの事例があるが、PWRではCI全体を取り替えた事例はなく、今回、当社が世界で初めて実施した。電力会社の高燃焼度燃料の導入に伴い、UCIに制御棒クラスタ案内管を4体増設するための構造変更と、併せてCIの長期信頼性、並びに発電所の安定運転を確保するための予防保全対策として、CI 一体取替え(全体取替え)を実施した。

#### 3. 旧CI 一体撤去搬出工法と旧CI 保管容器の製作

CIをRVから撤去するため、効率的な(被ばく量を抑えて工事期間の短い)撤去・搬出・運搬の方法、並びに旧CIを保管する容器を新たに開発した。旧CIの取り扱いに際し効率的な工法には、旧CIを分割・切断する工法よりも、UCI及びLCIを一体かつ気中にてRVから吊り上げ、これらを丸ごと保管容器に収納する工法が有効であった。この旧CI 一体撤去搬出工法は、さらに原子炉格納容器(CV)の機器搬入口(EH)を通す新旧CIの搬出入技術、CV内特設クレーンによる旧CI 保管容器(約450t)の吊り上げ・横倒し技術(図2)、並びに作業員が接近せずに遠隔操作により旧CI 収納後の保管容器下蓋を閉止する技術など、当社独自技術により構成した。旧CI 保管容器は、CVから搬出後最終的に発電所内の蒸気発生器保管庫に保管された。

旧CI 保管容器は、世界初で前例がなく、放射線遮へいのため板厚約28cmを要し、旧CIを一体収納するため全長約12m、外径約3.8m、並びに大型厚肉容器にも拘わらず全長に渡り内径円筒度3mm以下の高

<sup>\*1</sup> 神戸造船所原子力保全技術部軽水炉保全プロジェクトグループ主席  
<sup>\*2</sup> 神戸造船所原子力建設部主幹  
<sup>\*3</sup> 神戸造船所原子力機器設計部炉内構造物設計課長

<sup>\*4</sup> 神戸造船所造機工作部主席  
<sup>\*5</sup> 神戸造船所原子燃料・バックエンド設計部輸送・貯蔵システム設計課長

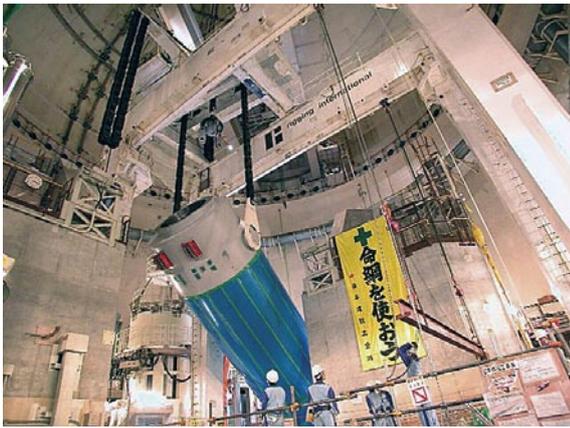


図2 CV内特設クレーンと旧CI保管容器  
旧CI一体撤去工法と旧CI保管容器の典型的な全体図。

精度にて製作した。さらにその構造に CIR 工法手順における取り扱い様態を詳細に反映した造りこみを行い、正に工法そのものが具現化された保管容器となった。

実機工事に先立ち、製作した旧 CI 保管容器と実機工事に持ち込む特設クレーンを神戸造船所にて組み上げ、実際に吊り上げ横倒しを行う作業の検証試験を行い、計画工法と要領に問題ないことを確認した。

旧 CI 一体撤去搬出工法を実機工事へ適用することにより、旧 CI を分割・切断する工法に比べ工事全体(旧 CI 撤去～新 CI 据付まで)で約 1/2 ～ 1/3 の短工期(約 70 日)を実現するとともに、工事総線量(作業員の被ばく量の合計)も、旧 CI 分割工法に比べ、約 1/10 の低い線量に抑えることに成功した(いずれも当社比)。

#### 4. 新 CI の設計製作と高精度据付け

新 CI は、最新の標準型 2 ループプラントの CI 設計に基づき、次の改良を施し設計製作した。主な改良点は、制御棒クラスタ案内管の増設、上部炉心支持板の構造変更(円筒胴付鋼製円板の採用)、バップル構造の変更(角バップルの採用、バップルフォーマボルトの構造変更)、及び熱遮へい体の変更(円筒型から分割型)である(図 3)。特に、バップルフォーマボルトについては、ボルトの長尺化、冷却孔の設置により応力の低減と使用環境の改善を行い、応力腐食割れに強い構造とした。PWR 建設の端境期にてしばらくの間製作実績がなかった高精度 CI の製作では、製造技術・技能を駆使し設備の高効率化の推進と併せ、製作品質並びに工程に問題のない製作を実現した。

新 CI は、既存の RV の中に高精度で据え付ける必要があるが、RV が高線量のため作業者が RV 内に入って隙間調整を行うことができない。このため、新たに開発した水中遠隔操作による高精度計測装置を用いて

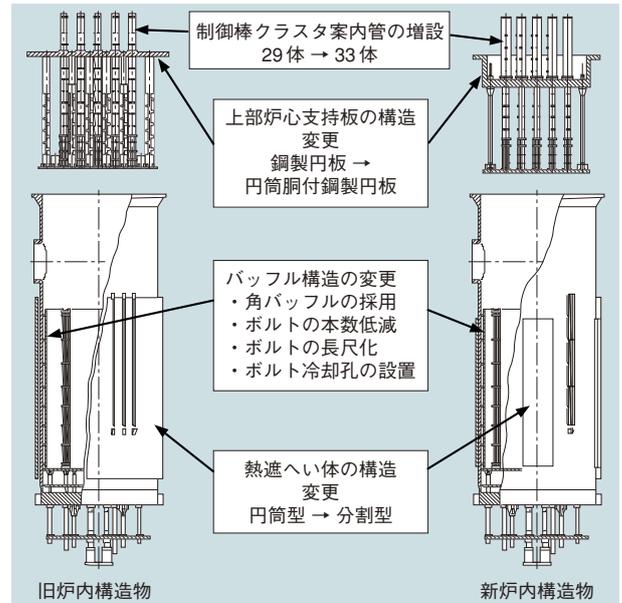


図3 新 CI の改良点 取り替え前後の炉内構造物の構造の比較。

両者間の実際の際間を計測し、その結果を基に工場加工した部品を新 CI に取り付けて、新 CI を所定の際間と位置に設置する工法を適用した。この新 CI 据付工法により、外径約 3 m、全長約 8 m、重量約 100 t の新 LCI を、RV との最小隙間約 0.4 mm という極めて高い精度による据付状態に復帰させる(初期プラント建設時と同等の据付状態に戻す)ことに成功した。

#### 5. おわりに

当社は、世界で初めて PWR 炉内構造物の一体取替工事を無事故無災害ノートラブルにて完了したことにより、線量の高い高経年化原子力機器に対し、安全にかつ短工期で低い工事総線量により取替工事を行える技術を示すことができた。今回の経験と技術を生かし、引き続き原子力機器の信頼性向上と予防保全対策に積極的に取り組み、原子力発電所の安全運転支援に全力を上げていく。



内山純一



大内博史



安食和英



西岡嘉生



玉置廣紀