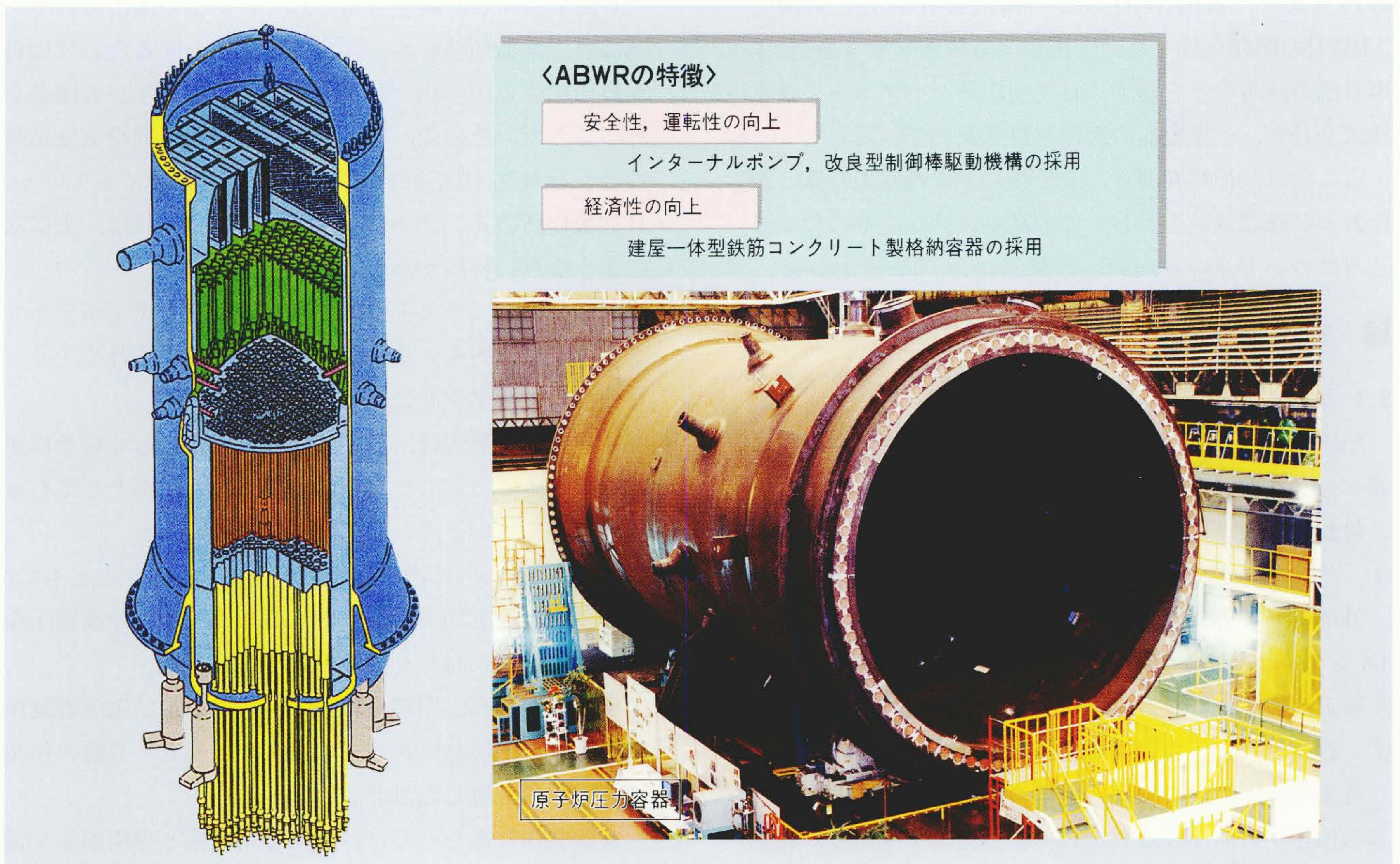


ABWR初号機に向けた 高信頼性機器の設計・製作の状況

Design and Fabrication of High-Reliability Nuclear Components

魚住弘人* Hiroto Uozumi 仲平四郎*** Shirô Nakadaira
進藤丈典** Takenori Shindô 矢田良男* Yoshio Yada



ABWR原子炉機器

ABWRは安全性、運転性、経済性の向上を目指して開発され、インターナルポンプ、改良型制御棒駆動機構の採用などの特徴を持っている。写真の原子炉圧力容器は、インターナルポンプケーシング取付後、工場発送される。

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号機の機器の製作が鋭意進められている。ABWRは安全性、運転性、経済性の向上を目指して各種確証試験を実施し開発され、インターナルポンプ、改良型制御棒駆動機構の採用などを特徴とする。製作にあたっては、高信頼性プラントのつくり込みを図るため、各種の新製作技術の採用、確認試験を行っている。

インターナルポンプは、インペラ・ディフューザの一体鍛造および全面NC加工の採用、ポンプ・電

源・MG(電動発電機)セットとの総合組合せ試験の実施などによって信頼性向上を図った。RPV(原子炉圧力容器)では大型一体鍛造構造を採用し、また、三次元自動溶接をCRD(制御棒駆動機構)スタブに適用した。RCCV(鉄筋コンクリート製原子炉格納容器)、インターナルポンプノズルでは高度な自動溶接機の活用により、改良型制御棒駆動機構では複合NC加工機の適用などにより、それぞれ信頼性の向上と品質の安定を図った。

* 日立製作所 日立工場 ** バブコック日立株式会社 呉工場 *** 日立製作所 土浦工場

1 はじめに

ABWR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。)がそれぞれ平成8年および平成9年の営業運転開始の予定で建設中である。日立製作所は東京電力株式会社の指導のもとで,米国GE社および株式会社東芝と共同でABWRの開発を行った^{1)~3)}。国による綿密な安全審査,工事計画の認可などを経て,日立製作所とバブcock日立株式会社が,主要機器の製作を鋭意進めている。

ここでは,柏崎刈羽6,7号機の主要機器の特徴,製作および確認試験をとおしての高品質プラントのつくり込みについて述べる。

2 柏崎刈羽6,7号機主要機器の製作

2.1 ABWRの概要

柏崎刈羽6,7号機の主要機器の特徴について以下に述べる。機器仕様を最新の従来型BWRである同4号機と対比して表1に示す。

(1) インターナルポンプ

外部ループ方式に替え,小型のポンプを内蔵する方式(インターナルポンプ方式)とし,プラント負荷変動に対する追従性,保守性および安全性を向上させる。

(2) 改良型制御棒駆動機構(FMCRD)

従来の水圧駆動に加え,通常の駆動を電動とする同時多数操作が可能な改良型制御棒駆動機構を採用し,起動時間の短縮などプラント運転性の向上を図る。

(3) 鉄筋コンクリート製格納容器

鉄筋コンクリート製建屋一体型構造とした原子炉格納

容器は,インターナルポンプの採用に伴う合理的配置,および原子炉建屋のコンパクト化を可能とした。

(4) 原子炉压力容器および内部構造物

プラント電気出力の増加,インターナルポンプの採用などに伴って,構造,溶接設計などの適正化を図った。

2.2 インターナルポンプ

日立製作所は,原子力用としてわが国の国情に合った高品質で高信頼性のポンプの安定供給を図るためには自主技術による国産化が肝要と考え,昭和54年から開発を行ってきた。その間,電力会社との共同研究や実証試験などが行われ,国産ポンプの優秀さが示されてきている。日立製作所のインターナルポンプ(図1参照)は,主に次のような点に特徴がある。

(1) 軸受は,スラストおよびラジアルともティルティングパッド型である。そのため,液膜が形成されやすく,また,性能が劣化しにくくなっている。

(2) 逆転防止装置は,ジャムブロック式にして完全に逆転を押さえるとともに,正転時ではカムが浮上してしゅう動摩擦がないようにしている。

(3) 水中モータは,水中部での接続部をなくすとともに,巻線の絶縁層を均一かつ3層とし,高圧水中や高電圧などの使用環境に対して,長寿命化を図った。

そのほか,高温環境やルースパーツおよび遠隔着脱作業では,どの部品に対しても耐久性と組立・分解の作業性を十分に考慮した設計としている。

実機製作にあたっては,組立専用設備と専用備品を備えたクリーンショップを設置するなどして,品質の確保に努めた。また,工作機械はマシニングセンタを広く活用した。特に,インペラ,ディフューザは鍛造材にして,材料信頼性を高めるとともに,多軸NC加工機で水力部

表1 柏崎刈羽6,7号機の主要機器の基本仕様
ABWRプラントである柏崎刈羽6,7号機は,原子炉再循環系にインターナルポンプを採用するなど安全性,運転性の向上を図っている。

項 目		柏崎刈羽6,7号機	柏崎刈羽4号機
電気出力		1,356 MW	1,100 MW
原子炉 压力容器	内径	約7.1 m	約6.4 m
	高さ	約21 m	約22 m
原子炉再循環系		インターナルポンプ (10台)	外部再循環ポンプ (2台) ジェットポンプ (20台)
制御棒 駆動機構	出力制御	微調整電動駆動	水圧駆動
	スクラム	水圧駆動	水圧駆動
原子炉 格納容器	型式	鉄筋コンクリート製	鋼製
	内径	29 m	29 m
	高さ	36.1 m	48 m



図1 インターナルポンプの各構成部品
どの構成部品に対しても耐久性,作業性を十分考慮した設計としている。

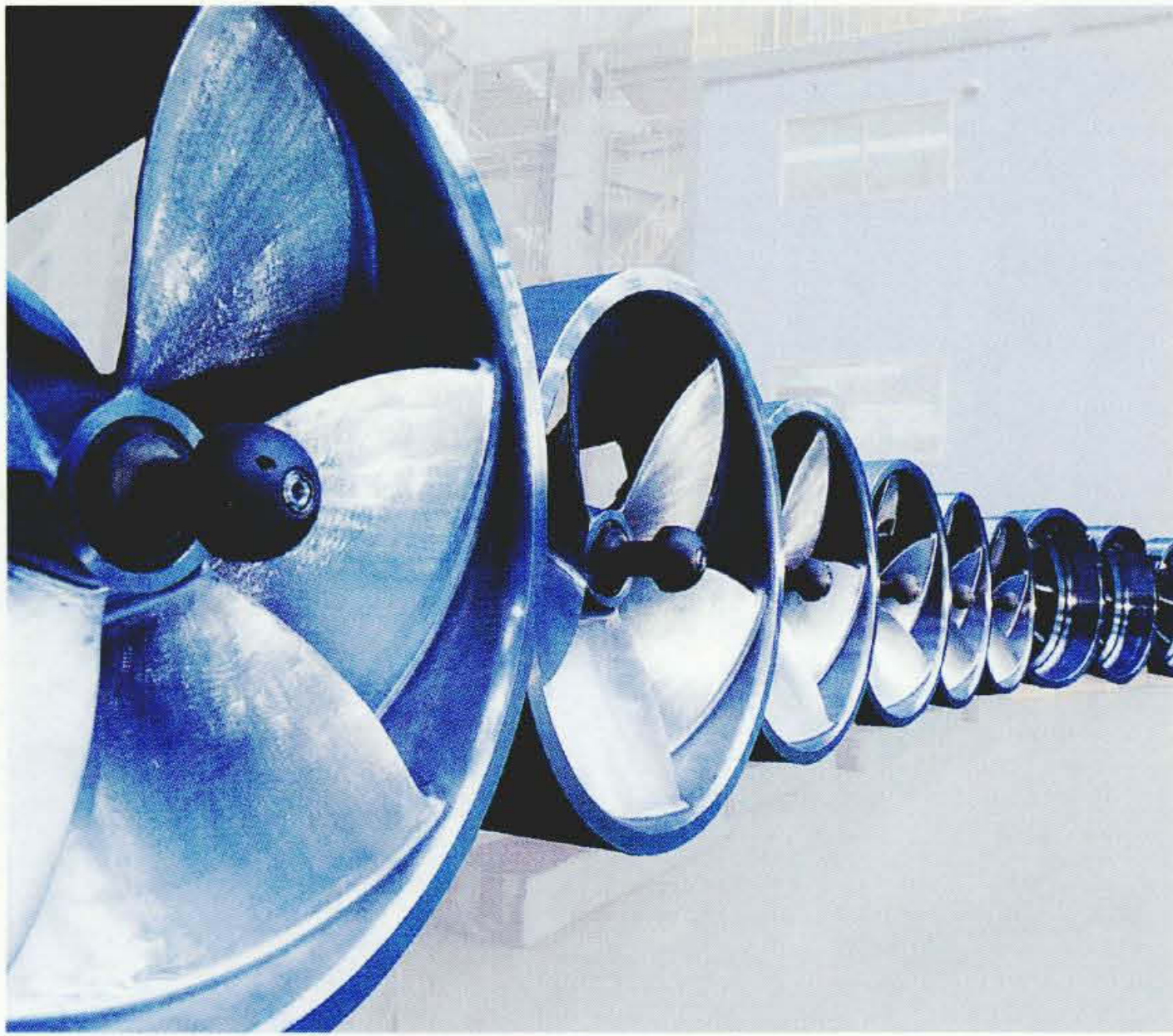


図2 インターナル ポンプ インペラとディフューザ
多軸NC加工機でポンプ性能のばらつきを低減したインペラとディフューザを示す。

を加工し、多数ポンプの性能のばらつきの低減を図った。加工後のインペラとディフューザを図2に示す。

工場試験は、実機を模擬した高温・高圧実負荷試験設備でポンプの性能試験を行い、さらに、実ポンプを用いた電源・MGセットからなる電源システム全体の運転制御試験も行い、信頼性を確認している。

2.3 原子炉压力容器

原子炉压力容器は、インターナルポンプを取り付けるためのインターナル ポンプ ノズルが下鏡内面側に設けられているほか、炉心部にはノズルなどの開口部を設けない設計としたことを特徴としている。特にインターナル ポンプ ノズルは、実運転状態を模擬した実物大モデルによる試験を行い、解析手法の妥当性と実機の構造健全性を検証している。

主要材料は靱性の優れた低合金鋼を用い、大型の鍛造材を採用し、溶接線を少なくするように配慮している。下鏡のインターナル ポンプ ノズル部鍛造材は世界最大規模のインゴットで鍛錬の後、素材メーカーと共同でNC加工実験を行ったうえで実機材を製造した。高Ni合金鋼やステンレス鋼などにも、耐食性の優れた材料を採用している。

製造技術については、従来、バブコック日立株式会社が採用している狭開先MIG(Metal Inert Gas)溶接の適用範囲を広げるなど、自動溶接をいっそう多く採用している。特に、下鏡内面に取り付くCRDスタブの溶接では、世界に先駆けて三次元自動溶接機を開発し、実機に適用した。溶接作業状況を図3に示す。従来に比べ、作業環境の改善、高効率化、耐食性のいっそうの向上が図れた。



図3 CRDスタブの三次元自動溶接作業状況
世界に先駆けてCRDスタブの三次元自動溶接を適用し、信頼性、効率の向上を図った。

インターナル ポンプ ノズル部では、ノズルの深溝加工具、インターナル ポンプ ケーシングとの自動溶接機、溶接後の遠隔非破壊検査装置、遠隔加工装置などの開発、モックアップ試験をとおして製作技術を確立し、実機の施工を行った。

2.4 RCCV

RCCVは、耐圧部材である鉄筋コンクリートと、漏えいバウンダリとしてのライナと呼ぶ薄板銅板で構成される。ライナにはアンカが多数接合されるため、製作にあたっては、自動溶接を大幅に採用した。特に、ライナとアンカの溶接には、薄板であることを考慮して、低ひずみ溶接が可能な高速溶接とするためMAG(Metal Active Gas)溶接を採用し、ロボットによる自動化を実現した。ロボットには、溶接途中での溶接線からのずれを自動的に補正できるアークセンシング機能を搭載し、溶接信頼性の向上を図った。RCCVを2台の溶接ロボットを使用して溶接している状況を図4に示す。

RCCVのライナどうしの突合せ溶接部には、自動TIG(Tungsten Inert Gas)溶接を採用して完全溶込み溶接とし、溶接後は放射線透過検査などを行い、健全性を確認している。その後現地で大型のリング形状に組立後、クローラクレーンを使用して一度に所定の据付け場所につり込み、据付け作業工程を短縮している。

2.5 原子炉炉内構造物

原子炉炉内構造物で燃料の上部を支持する上部格子板は、

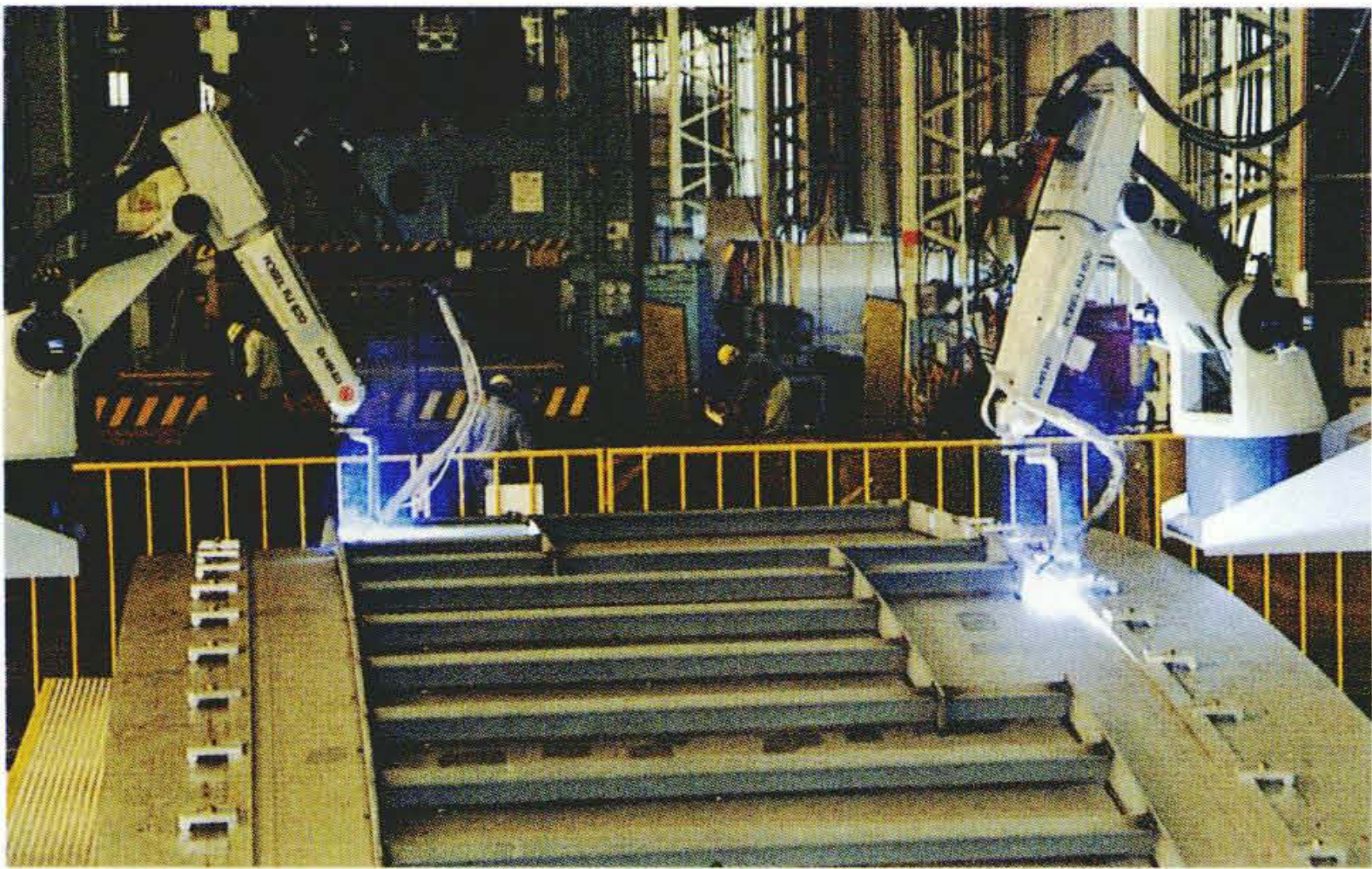


図4 RCCVライナ溶接状況

溶接ロボットにより、RCCVライナ溶接の信頼性向上を図った。

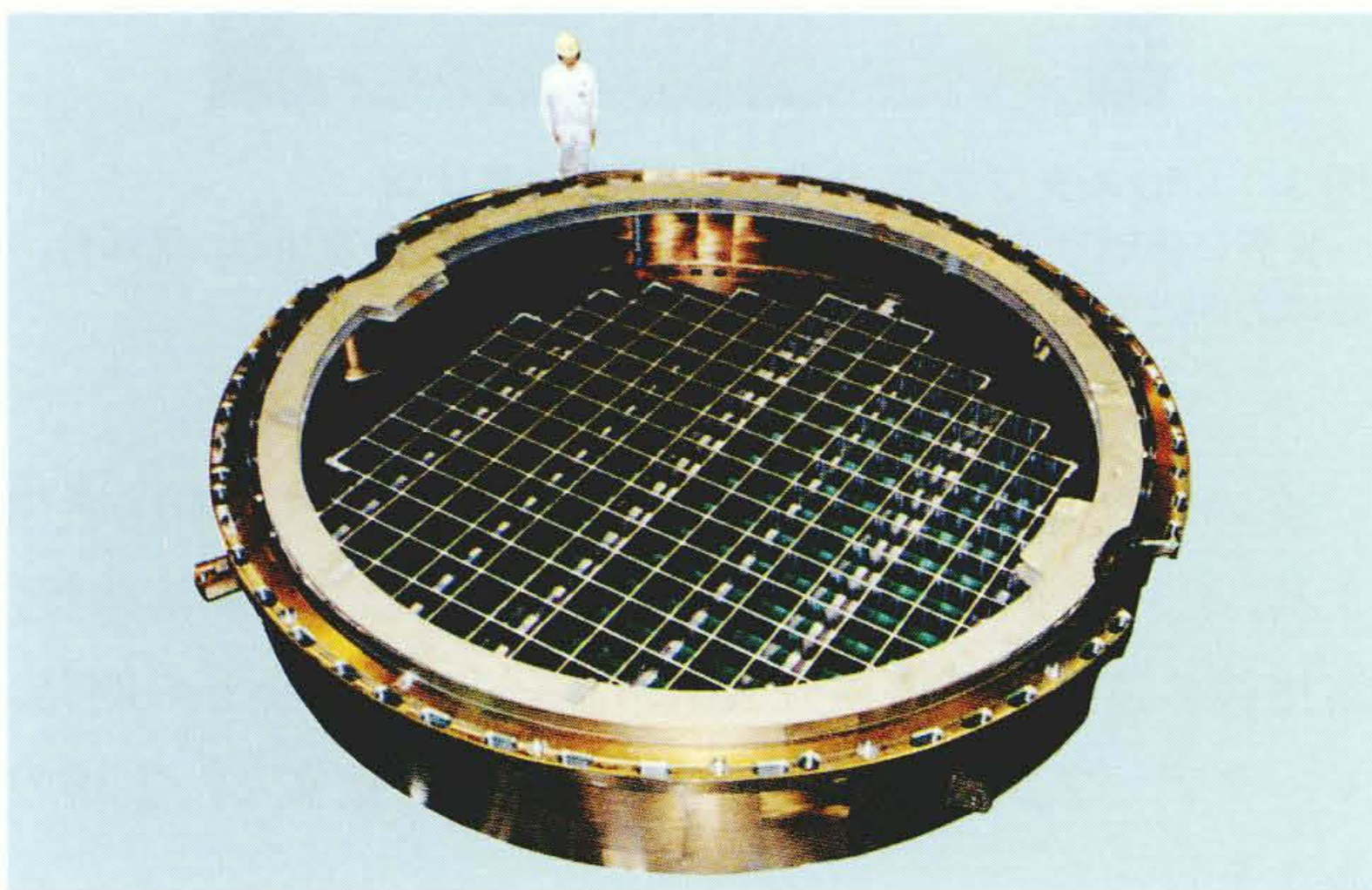


図5 上部格子板製作状況

一体鍛造材から削り出して加工した上部格子板を示す。

直径6,000 mmの一体鍛造ステンレス鋼材から約250個の格子状の角穴を削り出す構造とした。この加工には超大型マシニングセンタを使用し、まず、トレパニング加工で丸穴をあけ、その後、ミリング加工によって格子状に仕上げていく方法を採用した。加工後の上部格子板を図5に示す。加工にあたっては、高精度の寸法を確保するため、恒温下で加工できるように空調されている、原子力ステンレス鋼製品製作専用の建屋内で製作を行っている。

そのほか、溶接入熱の低減などのため、狭開先TIG溶接

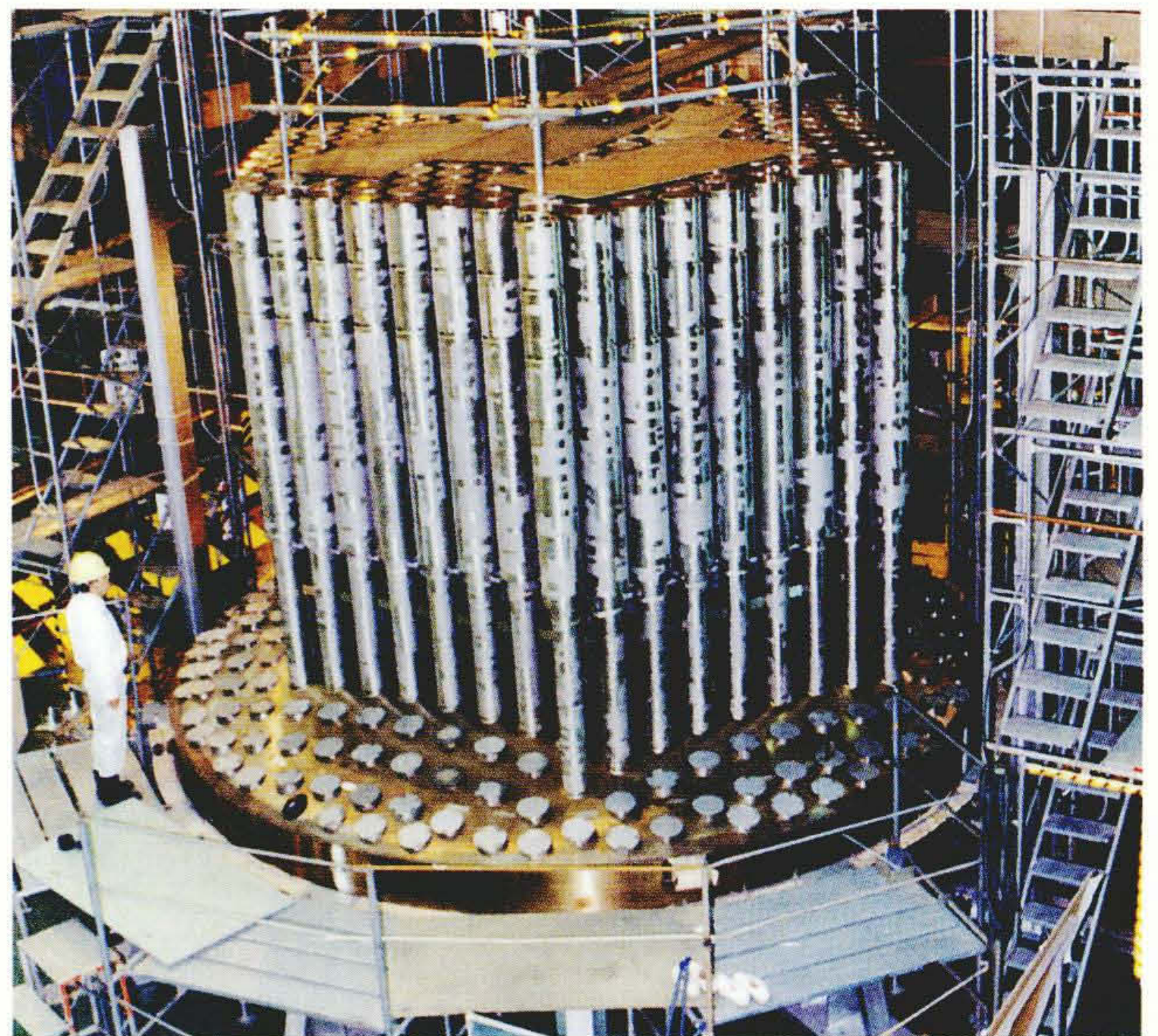


図6 シュラウドヘッドの製作状況

シュラウドヘッドに349本の気水分離器を溶接する。

の採用など、随所に新技術を取り込み、信頼性の高い製品を製作している。シュラウドヘッドに気水分離器を据え付けている状況を図6に示す。

2.6 改良型制御棒駆動機構

改良型制御棒駆動機構は、電動機を採用していることが特徴である。機械部分は、長さ4 mを超える長尺部品を持ち、数百点の部品で構成される。この機構に特有の小物部品では複合NC加工機の採用、狭隘(あい)部専用加工機の開発により、加工効率の向上を図っている。電動機にはステップモータを採用している。厳しい加工精度、組立管理が要求されているが、専用の組立ショップの設置などによって信頼性を高めている。

3 おわりに

ここでは、ABWR初号機である柏崎刈羽6,7号機的主要機器の設計、製作および確認試験をとおしての高品質プラントのつくり込みについて述べた。

プラント完成に向けて東京電力株式会社のご指導を賜りながら、さらにまい進していきたい。

参考文献

- 1) 山田, 外: ABWR初号機・東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所6,7号機の着工, 日立評論, 74, 10, 751~756(平4-10)
- 2) 堀内, 外: ABWR主要設備の設計と技術確証, 日立評

論, 72, 10, 1003~1010(平2-10)

- 3) 桜井, 外: インターナルポンプシステムの開発, 日立評論, 68, 4, 281~286(昭61-4)