

# 高熱効率型BWRタービンプラントの完成

—中部電力株式会社浜岡原子力発電所4号機—

Completion of High-Efficiency BWR Turbine Plant “Hamaoka Unit No.4”

辻 邦雄\* Kunio Tsuji

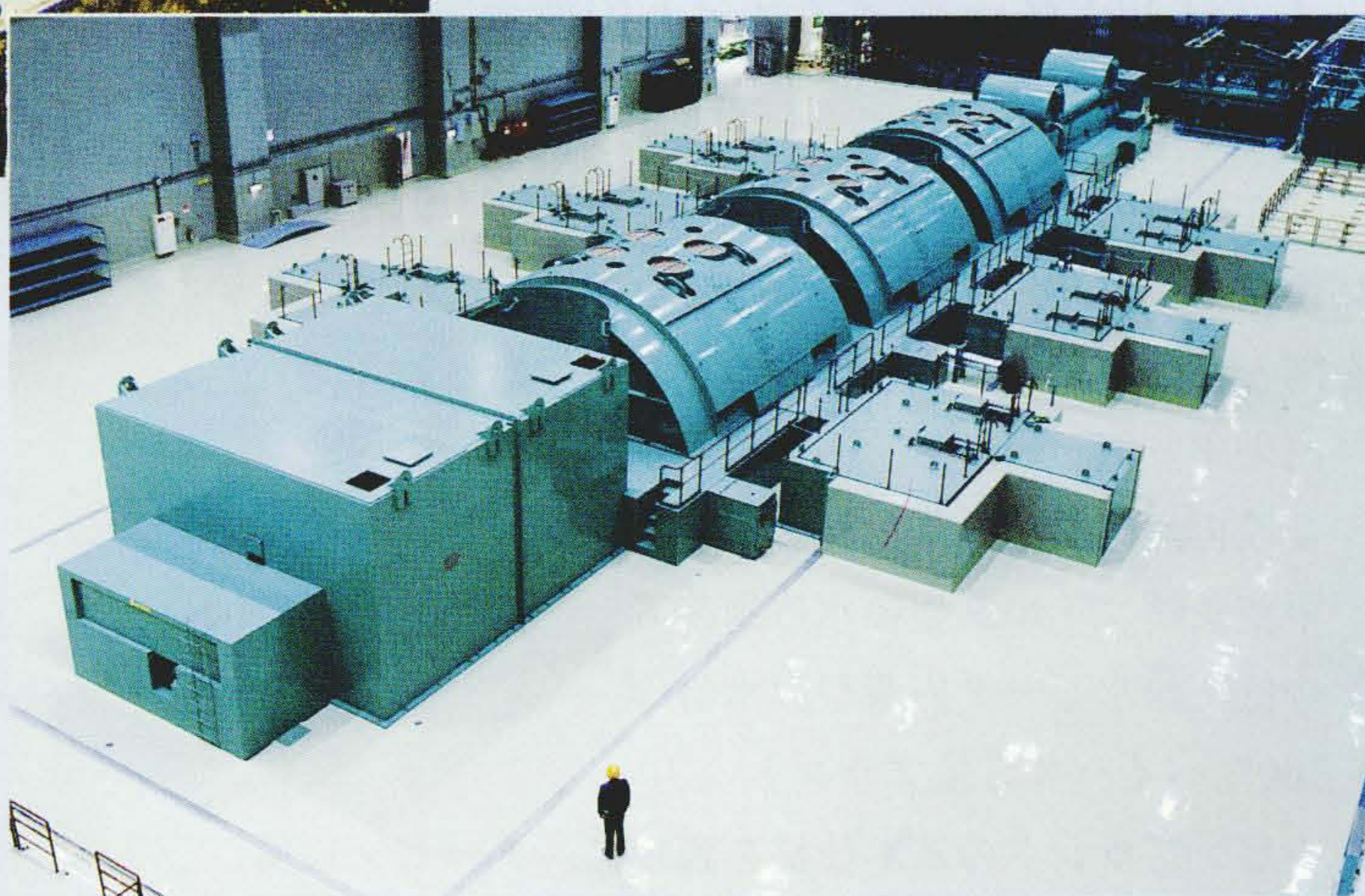
浜浦紀一\* Norikazu Hamaura

柴下直昭\* Naoaki Shibashita

風間誠一\* Seiichi Kazama



中部電力株式会社浜岡原子力発電所 4号機



1,137 MW 蒸気タービン発電機

## 中部電力株式会社浜岡原子力発電所 4号機

この1,137 MWタービンプラント設備は、国内BWRプラントの最大容量機、再熱式の初号機である。順調な運転を継続し、平成6年9月に第1回定期検査に入った。

わが国の新規原子力発電設備の大容量化に伴い、プラント熱効率の向上と線量の低減を柱に、いっそうの経済性を高めたプラントが求められている。

日立製作所は、国内BWR(沸騰水型原子炉)プラントとして最大容量機である中部電力株式会社納め浜岡原子力発電所4号機タービンプラント設備(電気出力1,137 MW)を完成した。

このプラントには、国内初の再熱式BWRプラン

トとして湿分分離加熱器、各種新技術によって高効率化を図った蒸気タービン、および全復水流量を処理する中空糸膜型復水ろ過装置を適用し、経済性、運用性を高めた計画とした。

平成4年11月の燃料装荷以降の約10か月の試運転により、いずれも計画性能を十分に満足していることを確認し、平成5年9月から営業運転を開始した。

\* 日立製作所 日立工場



1 はじめに

中部電力株式会社浜岡原子力発電所4号機(以下、浜岡4号機と言う。)は、1,137 MW発電設備で国内BWR最大容量機であるとともに、再熱式が採用された初号機である。平成元年8月の岩盤検査から約48か月という短期間で建設が完了し、平成5年9月3日には営業運転を開始し、順調に運転を継続している。

浜岡4号機のタービンプラント設備には、(1)MSH(湿分分離加熱器)の採用、(2)低圧タービン排気流路の改善、(3)組合せ中間弁にバタフライ弁を適用、(4)中空糸膜式の復水ろ過装置の採用により、経済性と運用性の向上を図った。

ここでは、浜岡4号機のプラント設備の概要について述べる。

2 1,137 MWタービンプラントの概要

浜岡4号機のタービンプラント設備には、先行機である浜岡3号機の運転経験などを反映するとともに自主開発技術を多く取り入れ、高効率化と信頼性、運転性の改善を図っている。主な特徴は次のとおりである。

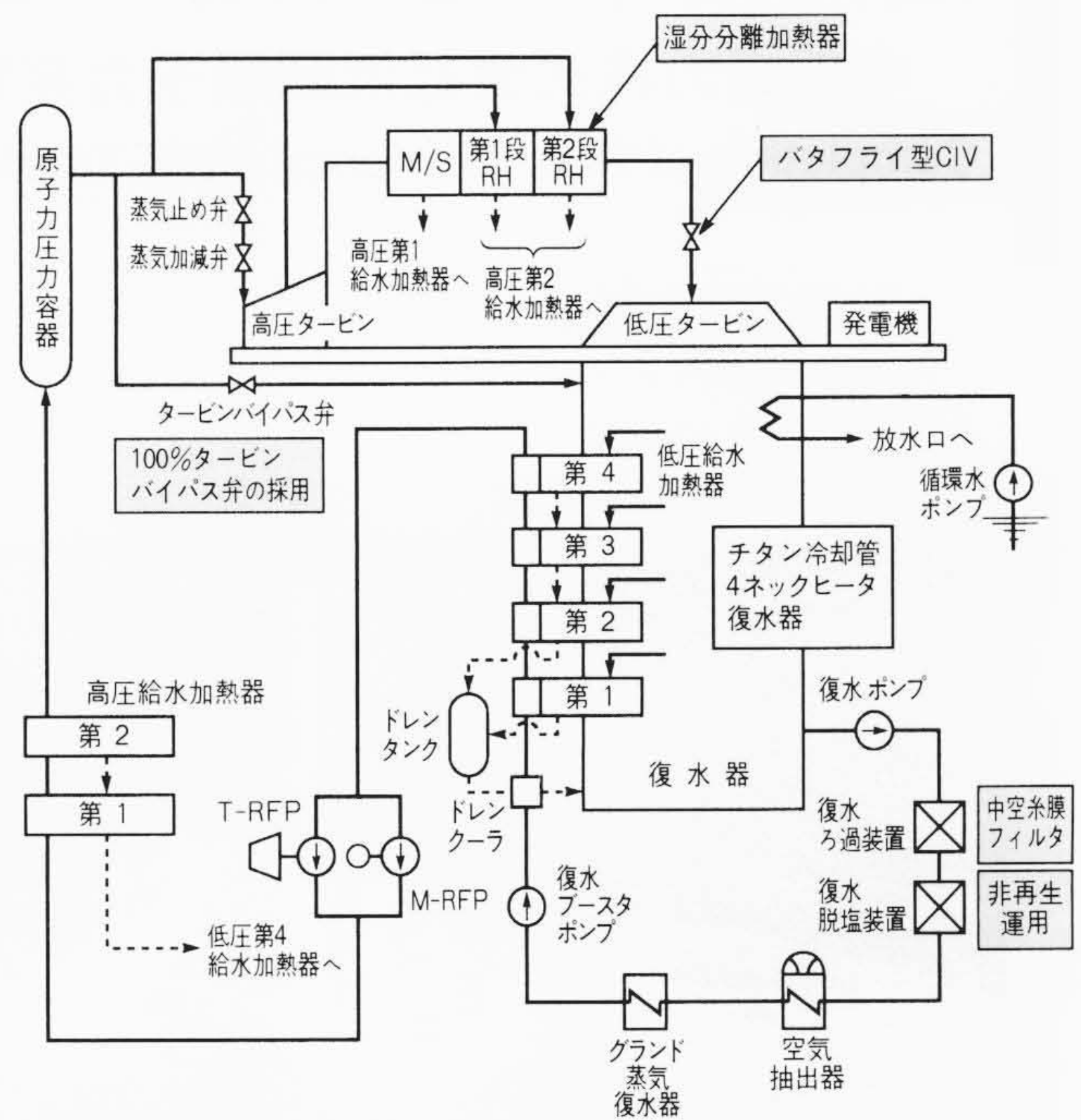
- (1) 高効率蒸気タービン
- (2) 2段再熱式湿分分離加熱器
- (3) 中空糸膜フィルタ型復水ろ過装置
- (4) 全低圧給水ヒータ内蔵型復水器
- (5) 100%バイパス容量プラント

タービンプラントの基本仕様を表1に、タービン設備

表1 タービンプラントの基本仕様

原子炉熱出力同容量機に対して電気出力を37 MW増とした高効率タービンプラントである。さらに運用性を高めるための最新技術が採用されている。

| 項 目           |        | 浜岡4号機         | 浜岡3号機         |
|---------------|--------|---------------|---------------|
| 原 子 炉 熱 出 力   |        | 3,293 MW      | 3,293 MW      |
| 電 気 出 力       |        | 1,137 MW      | 1,100 MW      |
| タ ー ビ ン 形 式   |        | TC6F-43       | TC6F-43       |
| タービン入口蒸気圧力    |        | 6.65 MPa(abs) | 6.65 MPa(abs) |
| 復 水 器 真 空 度   |        | 5.07 kPa(abs) | 5.07 kPa(abs) |
| 回 転 数         |        | 1,800 r/min   | 1,800 r/min   |
| 湿 分 分 離 加 熱 器 |        | 2段再熱式×2台      | 非再熱式×2台       |
| 復 水 器         |        | チタン製冷却管       | チタン製冷却管       |
| 給水ポンプ         | タービン駆動 | 50%×2台        | 50%×2台        |
|               | 電動機駆動  | 25%×2台        | 25%×2台        |
| タービンバイパス容量    |        | 100%          | 25%           |
| 発 電 機         | 容 量    | 1,280 MVA     | 1,280 MVA     |
|               | 励磁方式   | サイリスタ励磁       | 交流励磁          |
| 復 水 ろ 過 装 置   |        | 中空糸膜フィルタ      | 樹脂型フィルタ       |



注：略語説明など M/S (湿分分離器), RH (加熱器), CIV (組合せ中間弁) は最新技術を示す。

図1 タービン設備の技術的特徴  
各プラント機器構成要素に最新技術を適用し、高効率で経済性の高いプラントとなっている。

表2 浜岡4号機主要建設工程  
新しい建設工法の採用などにより、建設工期を従来よりも大幅に短縮した。

|             |             |
|-------------|-------------|
| 設 置 許 可     | 昭和63年 8 月   |
| 着 工         | 平成元年 2 月    |
| 燃 料 装 荷 開 始 | 平成 4 年 11 月 |
| 初 併 入       | 平成 5 年 1 月  |
| 営 業 運 転 開 始 | 平成 5 年 9 月  |

の特徴を図1に示す。また主要建設工程を表2に示す。

3 蒸気タービンの概要

浜岡4号機は、浜岡3号機で運転実績のあるくし型6流排気復水形(TC6F-43)蒸気タービンをベースに、高効率、高信頼性の最新技術が適用された。

(1) ディフューザ型低圧タービン排気室の採用

従来の直線的な軸受コーン部にはスムーズな蒸気ガイドを、最終段出口先端部にはロング蒸気ガイドをそれぞれ設けてディフューザパスを形成し、排気損失の低減を図った。構造概略を図2に示す。

(2) バタフライ型組合せ中間弁の採用

低圧タービン入口には、負荷遮断時などのタービン速度上昇を防止する目的で組合せ中間弁を設けている。こ



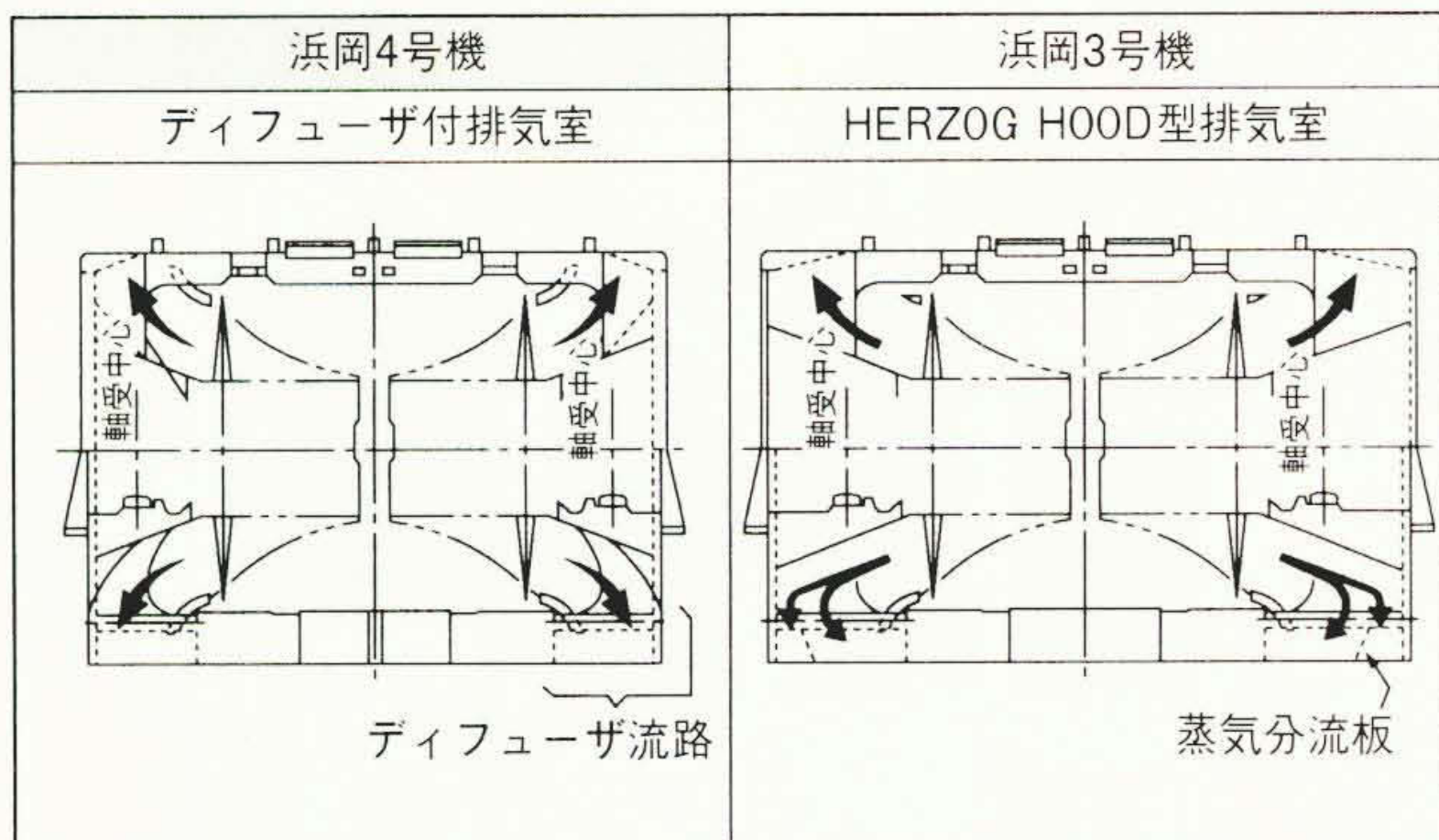


図2 低圧排気室構造比較

4号機は内外周の蒸気ガイドによってディフューザパスを形成し、3号機と同等の剛性としている。

表3 タービンプラント性能計画値

4号機の性能は、3号機と比べて約3%向上している。

| 項 目                     | 浜岡4号機 | 浜岡3号機 |
|-------------------------|-------|-------|
| タービン熱消費率<br>(kcal/kW・h) | 2,464 | 2,544 |

れを、図3に示すようにバタフライ型化することにより、配置スペースの低減と圧力損失の低減を図った。

### (3) 湿分分離溝付翼の適正化

MSH採用により、低圧タービン入口蒸気温度が約50℃加熱され、蒸気湿り度が従来に比べて浅くなり、ノズル、動翼内での湿り損失が軽減されるとともに溝付翼の採用段を適正化した。

### (4) 軸系の信頼性向上

翼軸連成ねじり固有振動数を、工場出荷前にロータ単体で確認するとともに、軸連結状態で運転周波数範囲から十分離れていることを確認し、信頼性の向上を図った。

浜岡4号機は、上述した高効率技術とMSHほかの採用により、浜岡3号機と比べ約3%の効率向上を図っている(表3参照)。試運転中に実施された性能試験で計画値を上回る結果が得られたことは、高効率技術がきわめて良好に発揮されていると言える。

## 4 MSH(湿分分離加熱器)を採用

国内BWRプラントに初採用されたMSHは、従来の高圧タービンと低圧タービンを接続しているクロスアラウンド管の途中に設置されていた湿分分離器に、高圧タービン抽気と主蒸気を加熱蒸気源とする2段の加熱器を一つの胴内に備えた構造物である(図4参照)。

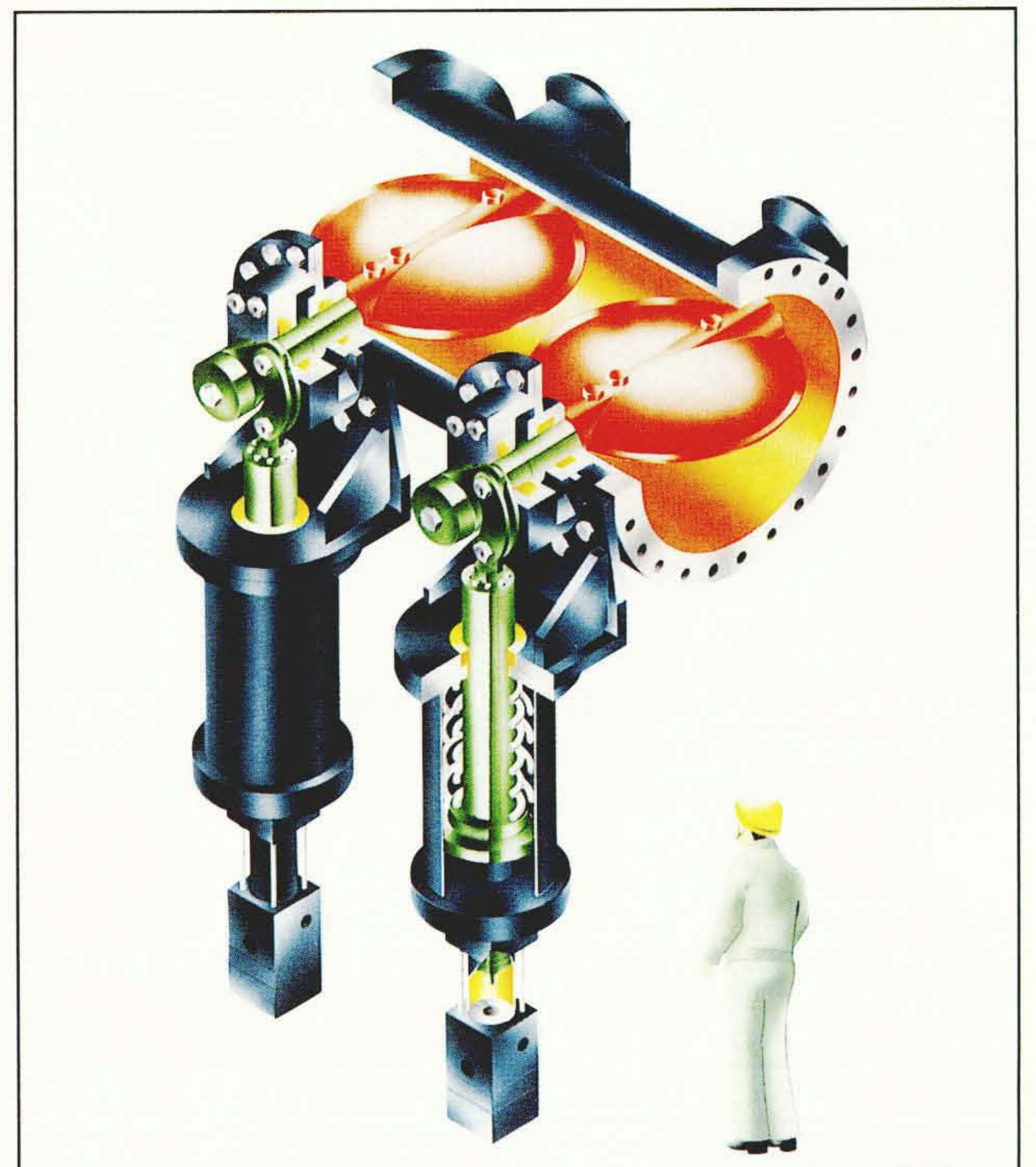


図3 バタフライ型組合せ中間弁

クロスアラウンド管と同一径の弁ケーシング内に、蒸気止め弁とインタセプト弁が内蔵されている。

MSHの採用による効率向上を実現するために以下のように配慮した。

- (1) 2段再熱式とし、1段再熱式に比べ熱効率を約0.4%向上させた。
- (2) 従来のオーステナイト系ステンレス鋼製チューブと比べ、熱伝導率とフィン加工性に優れたフェライト系ステンレス鋼製チューブとした。
- (3) MSH胴内流れ分布による性能への影響を確認するため、縮小モデル試験を実施した。
- (4) 湿分分離器は先行機で実績のある波板式分離エレメントとした。

プラントの初併入以降、MSHもインサービスされ、各負荷段階の起動試験では、MSHの性能、運転制御性が確認できた。MSH性能の諸パラメータでは表4に示すように、実測値が計画値を上回っていることが確認できた。

## 5 中空糸膜フィルタ型復水ろ過装置を適用

処理容量が世界最大級である6,630 m<sup>3</sup>/hの中空糸膜フィルタ設備(図5参照)を復水ろ過装置に適用したことにより、従来の粉末樹脂プリコート式フィルタに比べ、設備規模および廃棄物発生量の低減を図ることができた。

設備は全5塔のろ過塔で構成され、各ろ過塔にはカー



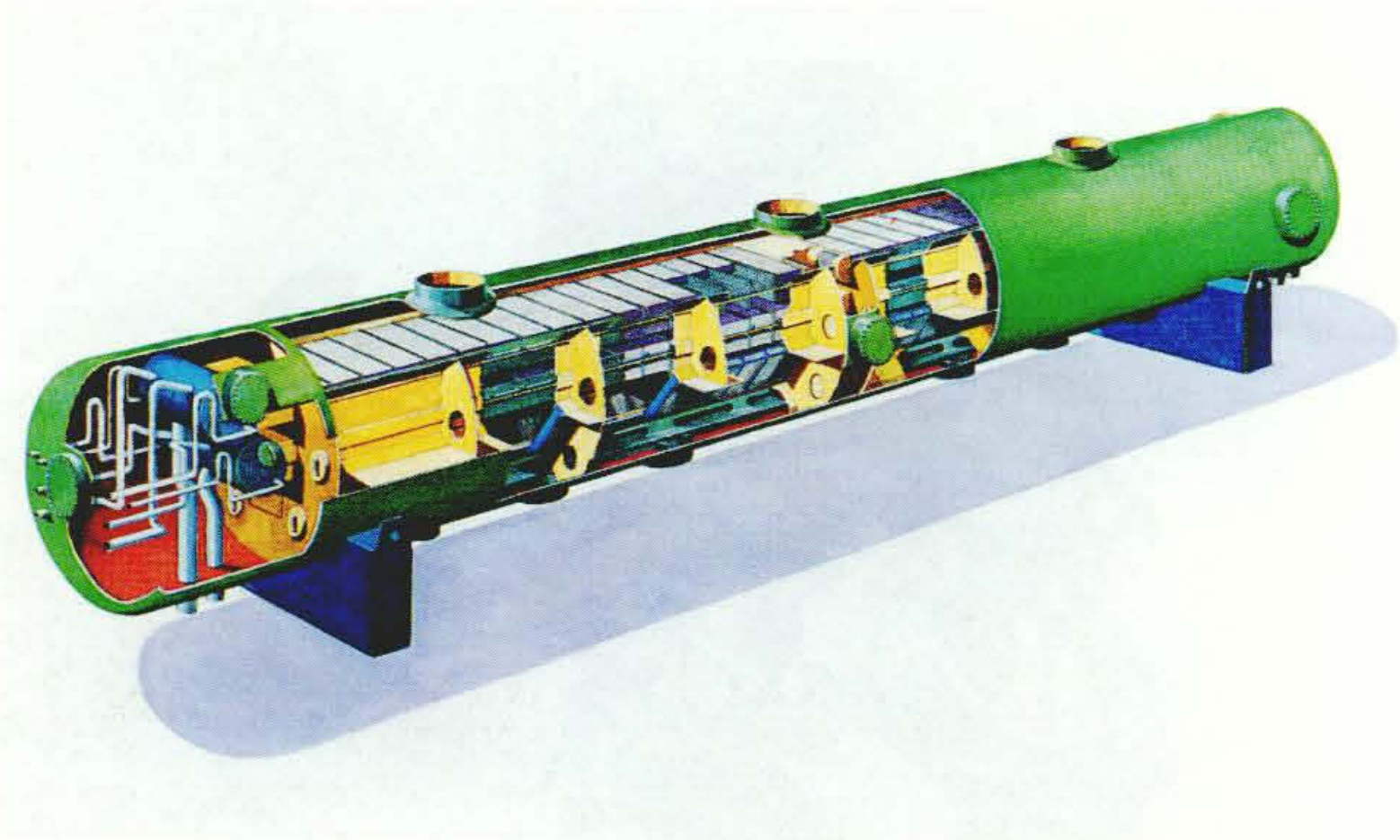


図4 MSHの鳥観図  
胴径3.8 m、全長28 mの胴体内に湿分分離器、第1段および第2段加熱器の順に配置されている。これは50%容量であり、蒸気タービンの両側に2基設置されている。

表4 MSHの性能  
湿分分離器、加熱器のいずれも計画値を上回り、熱効率向上に寄与している。

| 項 目                                      |        | 計画値  | 実測値  |
|------------------------------------------|--------|------|------|
| 湿分分離器出口湿り度                               |        | 1.2% | 0.6% |
| ターミナル温度差<br>( <small>実測値</small><br>計画値) | 第1段加熱器 | 1.0  | 0.43 |
|                                          | 第2段加熱器 | 1.0  | 0.64 |

トリッジ式の中空糸膜モジュールが約100本配置される。中空糸膜モジュールは、直径約1 mmの太さの中空状多孔膜を数千本束ねたものであり、膜表面の約0.1 μmの細孔で鉄酸化物(クラッド)を除去する。

- また、以下の開発検討を行ってこのプラントへ適用した。
- (1) 中空糸膜の耐圧性を従来比で約30%向上させた改良中空糸膜を開発し、フィルタ寿命の延長を図った。
  - (2) モジュールは、保護筒付一体型構造とした。さらに、オールプラスチック製として軽量化を図った。
  - (3) プラント建設後の防錆(せい)剤を含む系統水に対し、クラッドプリコート法を含む浄化方法を確立した。

平成4年8月から通水を開始し、約2年間良好に運転している。この装置の主目的であるクラッド浄化性能は常時99%以上(出口0.1 ppb以下)であり、原子炉への持ち

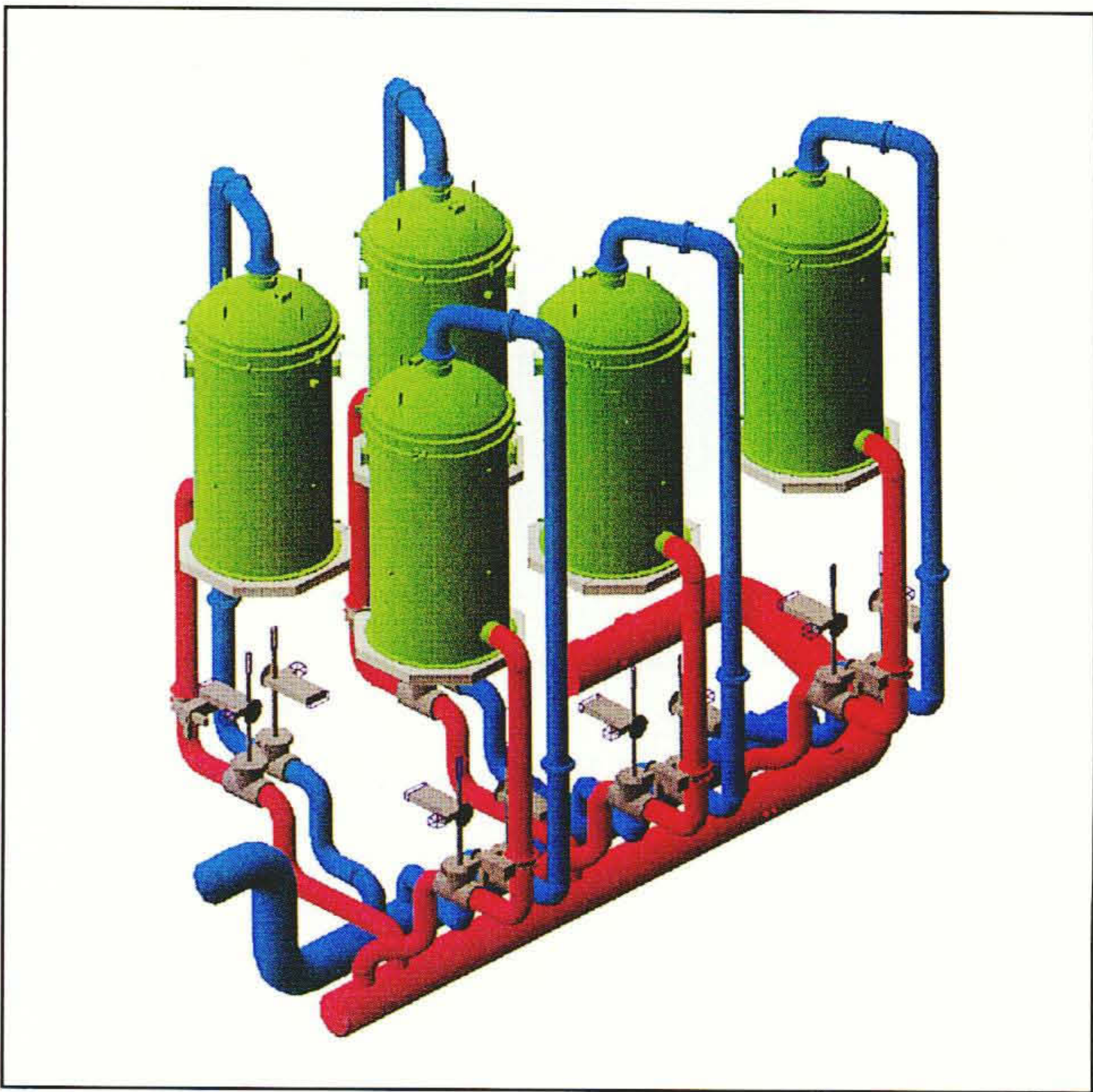


図5 中空糸膜フィルタの外観  
新技術として改良中空糸膜や軽量化モジュールを採用している。

込み鉄を制御し、放射能濃度抑制に寄与している。

6 おわりに

日立製作所は、数多くのBWRプラント向けタービン設備の設計、製作、建設、試運転に携わってきた実績をもとに、わが国初の再熱式BWRプラントである浜岡4号機タービン設備を“*We are one.*”のスローガンのもとに完成させ、高効率、高経済性技術の確証を得た。

今後建設される1,350 MW級ABWRプラントに向けて、52インチ最終段翼(50 Hz, 60 Hz)の開発を終了しており、浜岡4号機の試運転で得られた豊富な経験によって高効率、高信頼性プラントの設計・製作が可能となった。

最後に、このプラントの計画、建設、試運転についてご指導、ご支援をいただいた中部電力株式会社の関係各位に対し深謝の意を表する。

参考文献

1) 久野：原子力用蒸気タービン技術の現状と課題，日本原子力学会誌，27-1001(昭60-11)

2) 漆谷，外：原子力発電用大容量タービン設備，日立評論，68，4，295～300(昭61-4)

3) 森谷，外：BWRタービン設備の新技术，日立評論，72，10，1019～1026(平2-10)

4) 山口，外：浜岡4号機湿分分離加熱器の設計と試運転実績，火力原子力発電，45，9，986～995(平6-9)

5) S. Kazama, et al.：Improvements of Condensate Hollow Fiber Filter, EPFI '91 Meeting on Filtration of Particulates in LWR Systems (1991)