

第3章 安全性向上のための改良

1 炉内構造物

仕様

	バッフル取付板構造 (最新4ループ)	中性子反射体構造 (敦賀3、4号機)
基本構造	薄板によるバッフル構造	ステンレスリングブロック8段積
総部品数	約4000	約200
ボルト数	約2000	約50*
固定方法	取付板を介して炉心そうに ボルト止	タイロッドにより底部を支持棚 上に固定/自立構造
原子炉容器 中性子照射量	-	最新4ループに比べ約1/3

*：タイロッド8本×ネジ部2カ所(タイロッド上下) = 16カ所

位置決めピン部8カ所(上下)×クレビスインサート取付ボルト4本 = 32カ所

中性子反射体の採用実績

- ・リングブロック構造の中性子反射体については、敦賀3、4号機の設計開始時にWH社が提案を行い三菱が採用を決定したものであり、その後、三菱独自の改良を加えて現在の形状となっている。
- ・なお、WH社は1999年にアメリカで、次世代加圧水型軽水炉AP600の設計認証を取得しているが、この軽水炉には、リングブロック構造の中性子反射体が採用されている。

燃料集合体への影響

- ・中性子反射体には、中性子照射によるガンマ発熱を考慮して、冷却用の流路孔を設けて、上向きに1次冷却材を流す設計としている。
- ・この流路孔下部にはオリフィスが設けられており、流路孔内の圧力が炉心内の圧力より低い状態を作り出している。
- ・これにより、ブロック間隙の流れを、炉心からの外向きの流れとしている。(バッフルジェットの発生防止)

構造の健全性

- ・構造物の健全性に影響を与える要因としては、熱膨張および照射成長がある。
- ・中性子反射体の内部設計においては、炉心側に流路孔を密に配置して水平断面内の温度差を小さくするとともに、温度を350以下に抑えるよう設計している。
- ・このことにより、温度差に起因する熱応力の発生を防ぐとともに、照射スウェリング量について60年運転を仮定しても問題のない微少量に抑えている。
- ・また、中性子反射体の全体設計においては、炉心そうや上部炉心板等の炉内構造物との間に適切なギャップを設けるとともに、軸方向および径方向とも拘束しない構造と

している。

- ・軸方向については、中性子反射体ブロックを8本のタイロッドで串刺しにして、その上下端をネジ固定する構造としている。具体的には、下端は炉心その支持だなにタイロッド自体をねじ込んで固定しており、上端はタイロッドにナットを設置し固定している。
- ・このナットの締付け力については、熱膨張差を考慮した初期締付け力を与えており、しかも、中性子反射体の上方は上部炉心板に固定しない自立構造であるため、熱膨張を逃げる事ができる。
- ・径方向については、中性子反射体の上下端計8カ所で位置決めピンを用いて位置決めを行っている。具体的には、炉心その側に位置決めピンを冷しばめして溶接固定し、中性子反射体側のキー溝にさしこむ構造となっている。
- ・キー溝に差し込まれた位置決めピンは、クレビスインサート(金属片)によりメタルタッチで半固定されており、熱膨張を逃げる事ができる。なお、この構造は従来から上部炉心板の位置決めピンとして使用しており実績がある

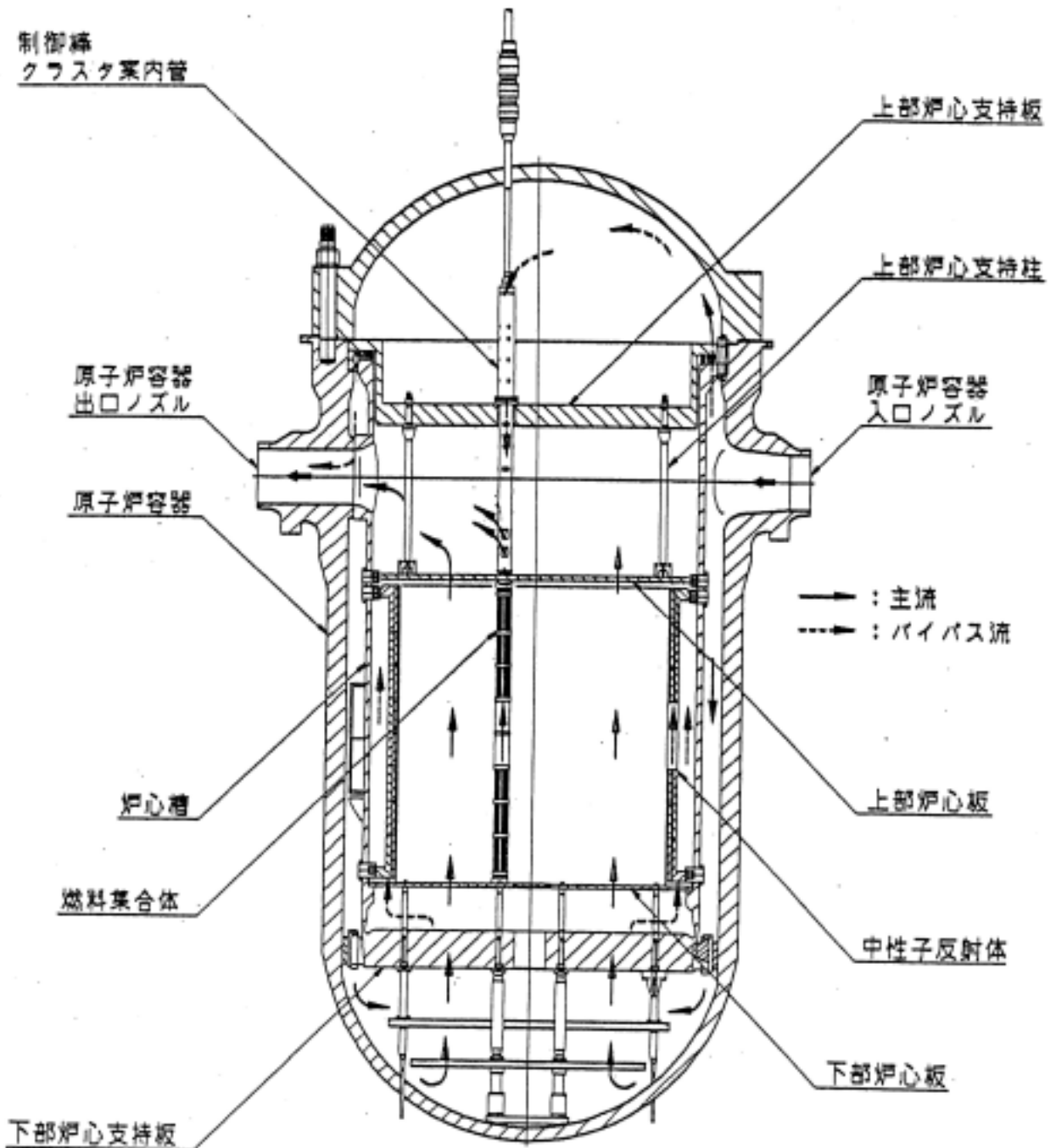
構造の信頼性

- ・近年、海外プラントのバップルフォーマボルトにおいて、中性子照射影響とみられる応力腐食割れが発生している。
- ・このことに鑑み、関西電力では美浜2号機の平成13年の定期検査でバップルフォーマボルトの取替えを実施した。
- ・中性子反射体構造では、ボルトはすべて中性子反射体の最上部と最下部のブロックに存在することから、中性子照射の影響を受けにくく、応力腐食割れの発生の可能性は極めて低いと考えられる。

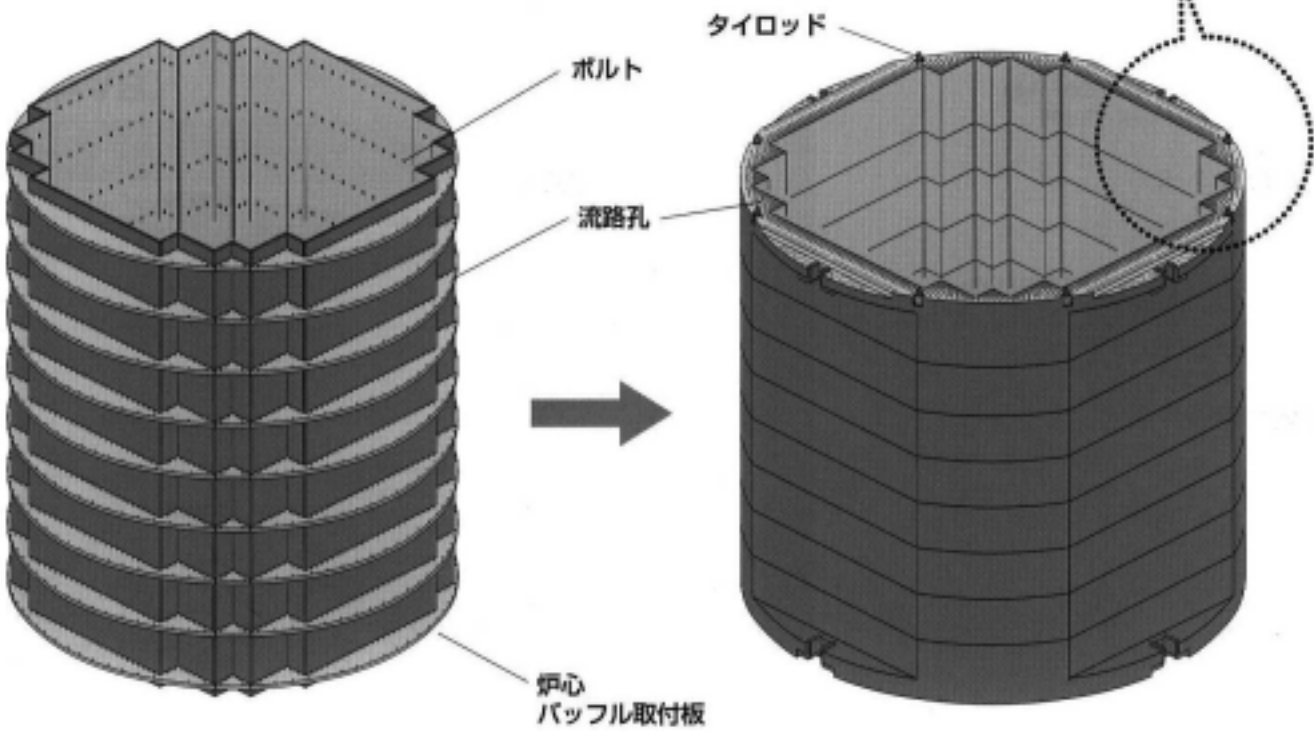
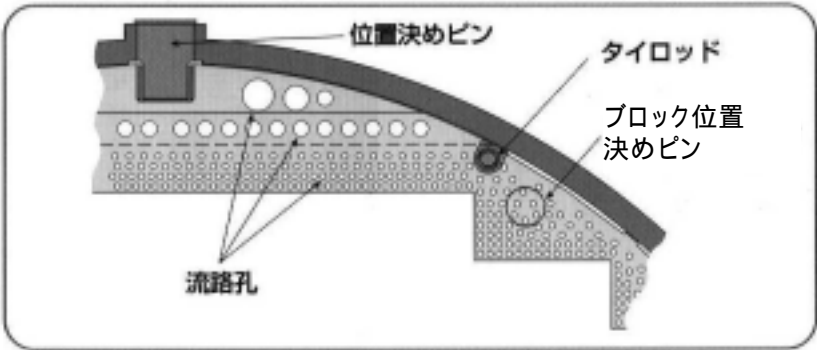
中性子照射量の低減

- ・原子炉容器内面への中性子照射量は、燃料と原子炉容器内面までの距離やその間に存在する金属製の炉内構造物(金属部分は水より中性子低減効果が大きい)に影響される。
- ・原子炉容器内面を軸方向に見た場合、軸方向の出力分布はほぼ一定で、燃料から原子炉容器内面までの距離や炉内構造物の介在状況も同じであることから、中性子照射量の違いは少ない。
- ・一方、径方向に見た場合、燃料をなるべく円形に近く配列しているが、45度方向で燃料と原子炉容器が近接した配置となるため、この方向の中性子照射量が大きくなる。
- ・このため、従来プラントでは、45度方向に金属製の熱遮蔽体を設置して中性子照射量の低減を図っている。
- ・敦賀3、4号機では、金属製の中性子反射体の設置や炉心そのの大型化により、従来に比べ中性子照射量が大幅に低減することが確認されており、熱遮蔽体は設置していない。
- ・なお、中性子照射量の低減割合については、一番厳しくなる45度方向で見た場合、従来比約1/3であり、その他の方向についてはこれ以上の低減割合となる。

原子炉全体構造



中性子反射体構造概要

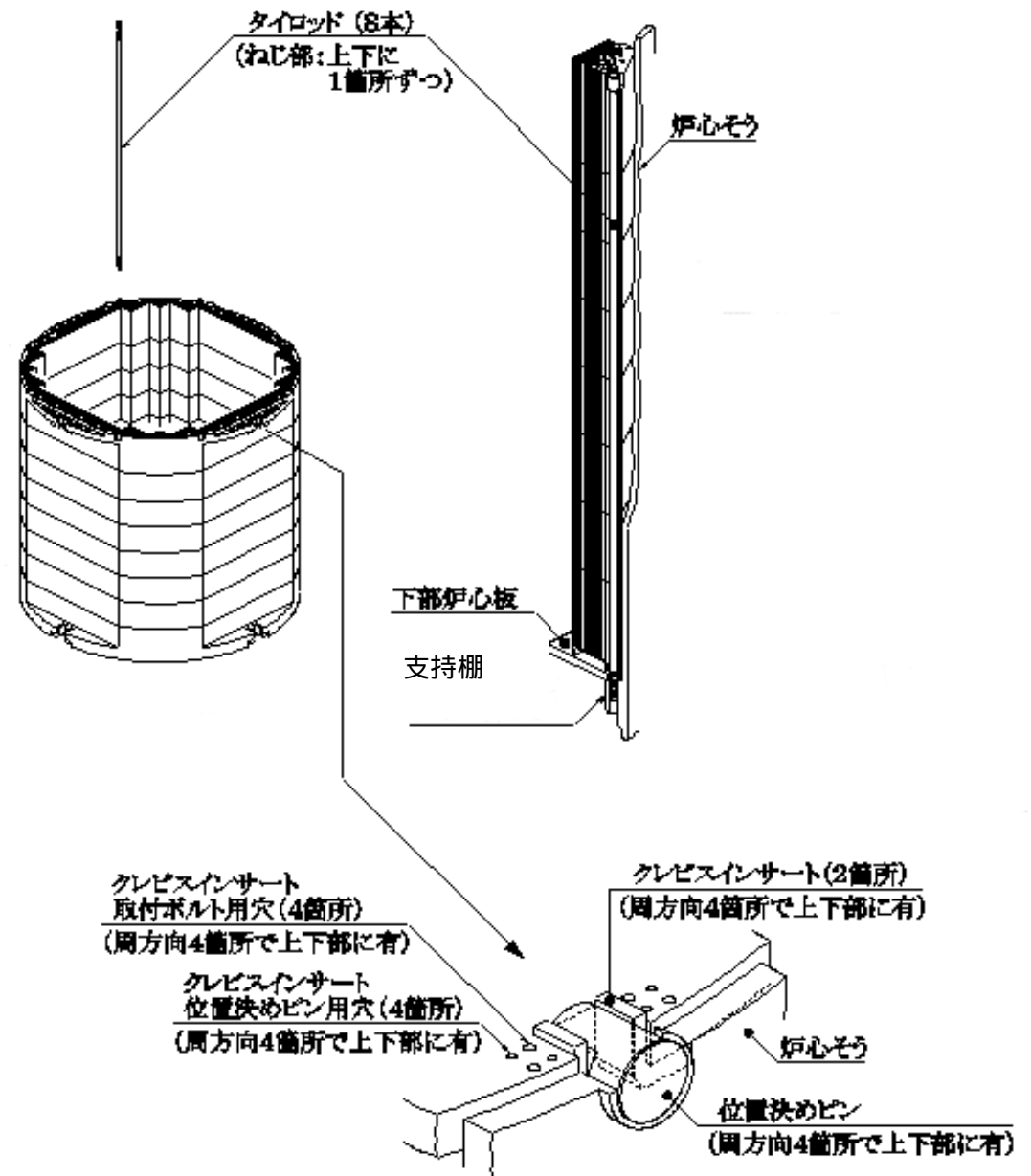


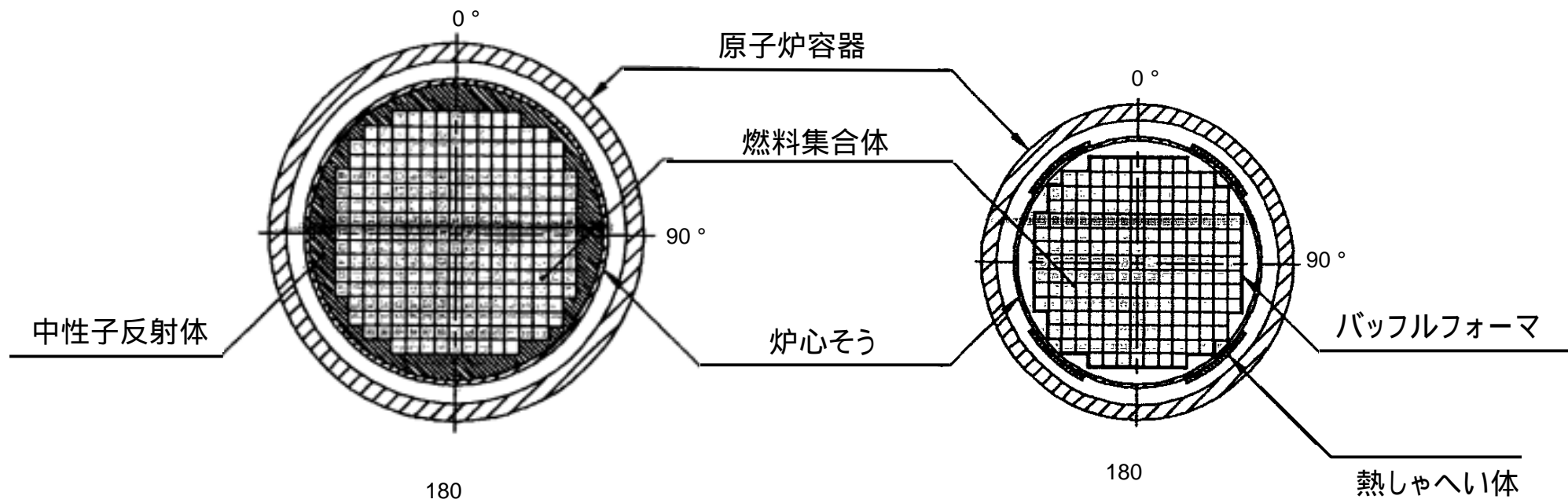
最新4ループ

敦賀3,4号機

ボルト本数について

部材名	本数
タイロッド	8本×2(16ヶ所) (タイロッドは上下にネジがあるため)
クレビスインサート取付ボルト	4本×4箇所×上下 (32ヶ所)
合計	48ヶ所





敦賀3 / 4号機

在来4ループ

2 蒸気発生器

仕様

		最新4ループ	敦賀3、4号機
型式		52F	70F-1
全高(m)		約20.8	約20.5
上部胴内径(m)		約4.3	約4.8
下部胴内径(m)		約3.3	約3.7
伝熱面積 (m ² /基)		約4870	約6500
伝熱管	本数 (本/基)	3382	5830
	材質	インコネル TT690	インコネル TT690
	外径/肉厚(mm) (インチ)	22.23/1.27 (7/8)	19.05/1.09 (3/4)
	配列/ピッチ(mm)	四角配列/約33	四角配列/約27
振止め金具		6点支持	9点支持
気水分離器		56インチ3個	20インチ20個
湿水分離器		2段	1段

伝熱管の強度

- ・出力増加に伴う蒸気発生器の大型化を抑制する観点から、伝熱管を細径化するとともに、ピッチを狭めている。
- ・細径化にあたっては、外径/肉厚比(=17.5)を従来と同じとして、従来と同じ強度を確保している。
- ・海外においては、従来からの7/8インチに加え、3/4インチも標準設計となっており、その採用実績は多い。
- ・国内においては、蒸気発生器取替え前の美浜1号機の伝熱管サイズは3/4インチであった。

気水分離器と湿水分離器

- ・小型気水分離器と1段湿水分離器の組合せは、WH社の蒸気発生器では標準設計となっており実績がある。
- ・国内においては、蒸気発生器取替え後の美浜1号機はWH社製であり、この組合せを採用している。

取替用蒸気発生器との比較

- ・伝熱管の外径、ピッチの変更や気水分離器、湿水分離器、振止め金具の構造変更に加え、給水ノズル、流量分配板等で変更が行われている。
- ・その違いは次のとおり。

蒸気発生器の仕様比較

	最新 4 ループ	取替用 SG	敦賀 3,4 号機	設計対応
型式	52F	54F	70F-1	
全高(m)	約 20.8	約 21.2	約 20.6	・出力増加にともなう容量増大に対し、 3/4 ｲﾝﾁ伝熱管、小型気水分離器、1 段型 湿分分離器を採用することで、SG の大 型化を抑制
上部胴内径 (m)	約 4.3	約 4.3	約 4.8	
下部胴内径 (m)	約 3.3	約 3.3	約 3.7	
伝熱面積 (m ² /基)	4,870	5,055 ないし 5,060	6,500	・伝熱管の肉厚が薄いので伝熱性能が向 上
伝熱管				
本数 (本/基)	3,382	3,382 ないし 3,386	5,830	
材質	TT690 合金	TT690 合金	TT690 合金	
外径 / 肉厚 (mm) (ｲﾝﾁ)	22.23 / 1.27 (7/8)	22.23 / 1.27 (7/8)	19.05 / 1.09 (3/4)	・強度:(半径)/(板厚)の比が同等 であり、発生応力に差はない ・伝熱管損傷へ与える影響:損傷発生に 対しては伝熱管寸法の影響無し ・検査性:検査性は欠陥の板厚に対する 比でほぼ決まるため、検出精度に有意 な差はない ・使用実績:海外では 3/4 ｲﾝﾁ伝熱管を採 用しているプラントは約 50 プラントあ り、十分な実績がある
配列 /ピッチ (mm)	四角 /約 33	四角 /約 33	四角 /約 27	・スラッジ除去の観点から従来同様四角 配列を採用している ・ピッチと伝熱管外径の比を従来プラ ントと同等とすることで、管支持板管板 の強度に影響を与えないようにする
振止め金具	6 点支持 (最外周) 3 本組振止 め金具	6 点支持 (最外周) 3 本組振止 め金具	9 点支持 (最外周) 5 本組振止 め金具	・3/4 ｲﾝﾁ伝熱管の採用により伝熱管断面 の剛性は低下するが、振止め金具支持 点数を 6 点から 9 点とすることで支持ス パンを短くしており、流力弾性振動に 対する余裕も同等となっている。 ・耐震性についても実寸大モックアップ を用いた実証試験により健全性を確認

気水分離器 (ライザー 内径)	大型 3 個 (56 イン チ)	大型 3 個 (56 イン チ)	小型 20 個 (20 イン チ)	・小型気水分離器と 1 段型湿分分離器を組 合せた、実温実圧条件下での実証試験 を実施した結果、SG 出口湿分が設計目 標 0.25%以下を満足 (0.1%以下と評価さ れる) し、従来プラントと同等以上の 湿分分離性能を持つことを確認
湿分分離器	2 段型配置	2 段型配置	1 段型配置	
SG 出口湿 分 (%)	0.25% 以下	0.25% 以下	0.25% 以下	
管支持板	B E C 型	改良 B E C 型	改良 B E C 型	・BEC 型から改良 BEC 型にすることによ り、管支持板の面内強度を向上させ耐 震裕度を大きくする。
流量分配板 / チューブ レーンブロ ック	設置	設置	非設置	・伝熱管列数が増加し、伝熱管外径、ピ ッチが小さくなっていることから管群 の流動抵抗が増加。流量分配板を設置 しても管板上低流速域 (スラッジが堆 積し易い領域) の低減効果が少ないこ とから、流量分配板は非設置とした。 ・また、チューブレーンも非設置とし、 チューブレーンを通じて管群内に押し 込まれる流れによる管群部流速の増加 を図っている。
スラッジコ レクタ	非設置	非設置 もしくは 設置	設置	・スラッジコレクタにより給水中のスラ ッジを回収し管板上に堆積するスラッ ジ量を低減する。
給水ノズル ・サーマル スリーブ ・ノズル 形状	差込み型 従来型	溶接型 従来型	溶接型 改良型 (形状を改 良)	・サーマルスリーブ差込み構造は、S G 水位が低下すると差込み部で給水管台 との隙間より蒸気が給水管内へ侵入し ウォータハンマの原因となる可能性が あるため溶接型とし隙間をなくす構造 とした。 ・従来型給水入口ノズルの先端形状を改 良し、ノズルに発生する熱応力の低減 をはかり疲労強度を向上させる。
給水リング 形状	従来型	従来型	持ち上げ 型	・小流量給水による給水入口ノズル部で の熱成層化現象による熱応力を緩和す るため持ち上げ型給水リングを採用。
給水チュー ブ	J チュー ブ	J チューブ	スプレイ チューブ	・従来 S G の J チューブからスプレイチ ューブとすることにより、S G 器内への 異物混入を防止する。

フローリストリクタ	組込み型	組込み型	一体型	<ul style="list-style-type: none"> ・一体型フローリストリクタは蒸気出口管台にあらかじめあけられたフローリストリクタ用穴にベンチュリを挿入し溶接する構造である。 ・従来S Gの組込み型フローリストリクタに比べ部品点数及び溶接部を少なくし、信頼性の一層の向上を図る。
管板形状	従来型 二次側周 辺溝なし	従来型 二次側周 辺溝なし	二次側周 辺溝あり	<ul style="list-style-type: none"> ・管板の二次側表面周囲に溝を設置することにより、管板の熱応力低減をはかり疲労強度を向上させる。

APWR SG(70F-1型SG)の設計変更一覧

	52F型	54F型	70F-1型 APWR SG
外形図	<p>約 4.3m</p> <p>約 3.3m</p> <p>約 20.8m</p>	<p>約 4.3m</p> <p>約 3.3m</p> <p>約 21.2m</p>	<p>約 4.8m</p> <p>約 3.7m</p> <p>約 20.6m</p>

