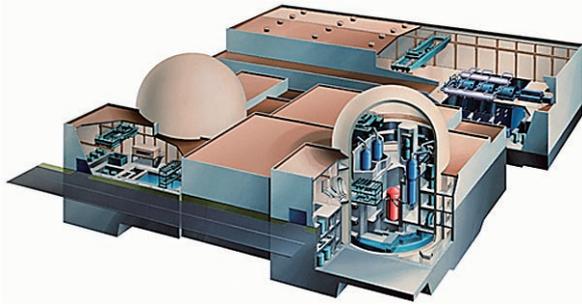


# 地球温暖化防止に貢献する三菱標準炉 APWR の展開

## Global Deployment of Mitsubishi Standard APWR as an Effective Countermeasure Against Global Warming



鈴木 成光\*<sup>1</sup>  
Shigemitsu Suzuki

緒方 善樹\*<sup>2</sup>  
Yoshiki Ogata

西原 幸夫\*<sup>3</sup>  
Yukio Nishihara

藤田 司郎\*<sup>4</sup>  
Shiro Fujita

地球温暖化防止対策として原子力への期待が高まる中で、PWR 総合プラントメーカーとしての経験、技術を集大成した大容量の三菱標準炉である APWR プラントを確立した。APWR は国の改良標準化計画や電気事業者の支援を受けて開発した技術をベースに、高い信頼性、安全性、経済性を実現したプラントであり、現在、初号機となる敦賀 3、4 号機の安全審査が進められる一方、米国向け US-APWR の標準設計認証 (DC) 取得や欧州向け EU-APWR の EUR 認証取得準備などに取り組んでいる。当社は、APWR を地球温暖化防止に貢献する中核技術と位置付け、グローバルな期待に応えていく。

### 1. はじめに

地球温暖化防止に向けて様々な施策や技術開発が急務となる中で、CO<sub>2</sub> ゼロエミッション技術として原子力への期待はますます高まりつつある。ここでは、温暖化防止に貢献する大容量の三菱標準炉 APWR (Advanced Pressurized Water Reactor) プラントの概要と国内外での普及拡大に向けた当社の取組みについて紹介する。

### 2. APWR 開発の経緯と国内外への展開

APWR の開発は、1980 年代初頭、国策として推進された第 3 次の軽水炉改良標準化計画として、電気事業者 5 社 (北海道電力 (株)、関西電力 (株)、四国電力 (株)、九州電力 (株)、日本原子力発電 (株)) とウェスチングハウス社、当社の共同開発体制で開始された。開発のねらいは、第 1 次、第 2 次改良標準化における信頼性・安全性の向上や、保守性・運転操作性の改善などの成果に加えて、更なる信頼性・安全性の向上、プラントの大容量化による経済性の向上、立地の効率化を図るなど、当社のこれまでの PWR プラントの設計、建設、運転を通じて得られた経験、技術を集大成して改良型標準軽水炉の確立を目指すものであった。国の改良標準化計画の完了後も電気事業者から継続的に支援を受け、炉心構造の見直しに伴う出力の増大、高性能蓄圧タンクの導入による安全系設備の最適化な

どの改良を行った。そして、2004 年 3 月、日本原子力発電 (株) より、APWR 初号機となる敦賀 3、4 号機増設に係る原子炉設置変更許可が申請され、国による安全審査が開始された。

これをベースにして蒸気発生器伝熱性能やタービン性能を更に向上した約 160 万 kW や約 170 万 kW (米国で型式認証申請済) の APWR も含めて、APWR は経済性の優れた大容量の PWR 標準プラントのラインナップとして確立を図っている。電気出力としては従来型 4 ループに比べ、約 30 % 以上の大容量化を達成している (図 1)。

APWR のプラント設備の主な特徴は以下のとおりであり、3 章ではこれらの概要について紹介する。

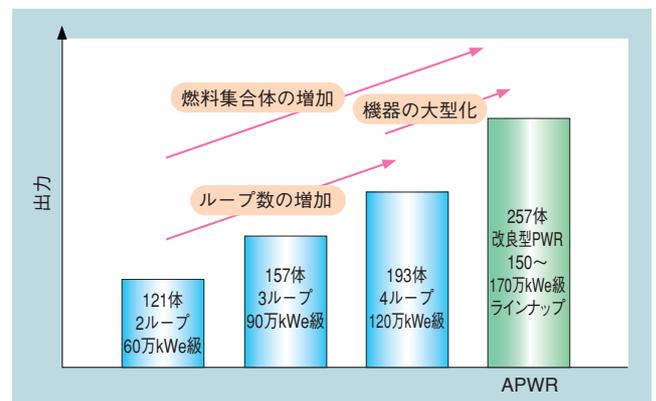


図 1 PWR プラントの大容量化の流れ

\*<sup>1</sup> 原子力事業本部原子力技術センター原子力技術部長

\*<sup>2</sup> 原子力事業本部 APWR 推進室長

\*<sup>3</sup> 原子力事業本部原子力技術センター軽水炉プロジェクト室長

\*<sup>4</sup> 原子力事業本部技師長

- ① 大型炉心及び主要機器の大容量化（蒸気発生器，1次冷却材ポンプ，加圧器，タービン）
- ② 改良型安全系設備（4サブシステム，燃料取替用水ピットの原子炉格納容器内設置）
- ③ 新型計測制御設備（デジタル式新型中央制御盤）。

### 3. APWRの採用技術

#### 3.1 大型炉心

APWRの炉心は，大熱出力を実現するために燃料集合体を従来型4ループの193体から257体に増加し，大型炉心を採用している（図2）。燃料集合体には，改良型17×17燃料集合体を採用し，ウラン資源の有効利用の観点から，中性子吸収の少ないジルカロイグリッドを採用（現行プラントにも適用済）している。また，MOX炉心や高燃焼度化など運転の多様化のニーズにも柔軟な対応が可能のように，MOX燃料の装荷規模に応じた制御棒体数の設定ができるようにしている。

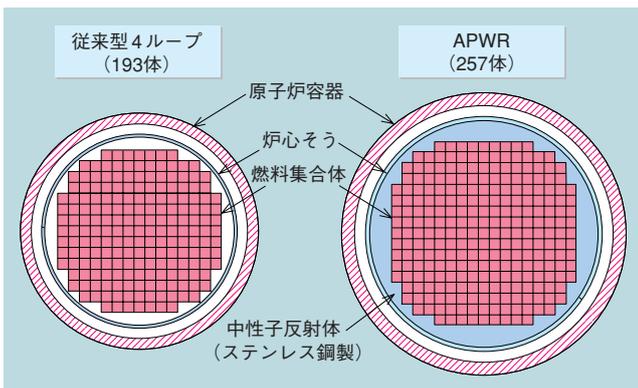


図2 大型炉心の採用

#### 3.2 中性子反射体

APWRの炉内構造物には，ウラン資源の有効利用のため炉心回りに中性子反射体を採用している（図3）。この中性子反射体は，従来のPWRがステンレス板を多数のボルトで組み上げる炉心バッフル構造であったのに対し，溶接線が無くボルト結合が少ないステンレス鋼のリングブロックを積み重ねた簡素な構造としており，原子炉容器への中性子照射量を約1/3に低減でき，原子炉容器の信頼性が一層向上する設計となっている。

#### 3.3 改良型安全系設備—アクティブ系・パッシブ系のベストミックス

APWRでは，安全性の向上を図るため，非常用炉心冷却系（ECCS）を従来の2系列構成（2×100%容量）から4系列構成（4×50%容量）とし，事故時の機器作動に対する信頼性を向上させた。各系列の設備をそれぞれのループの近傍に設置することで，配管物量を削減するとともに配置上の分離・独立性も強化した（図4）。

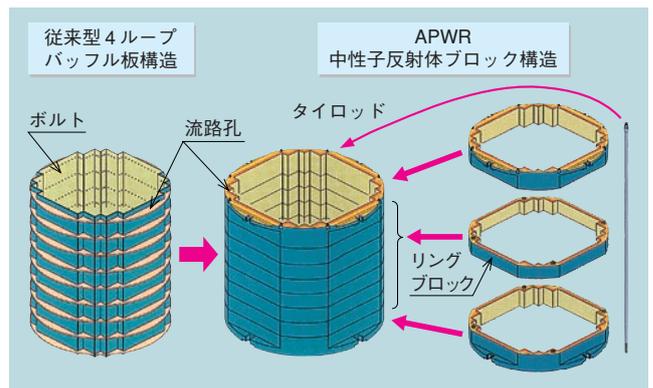


図3 中性子反射体

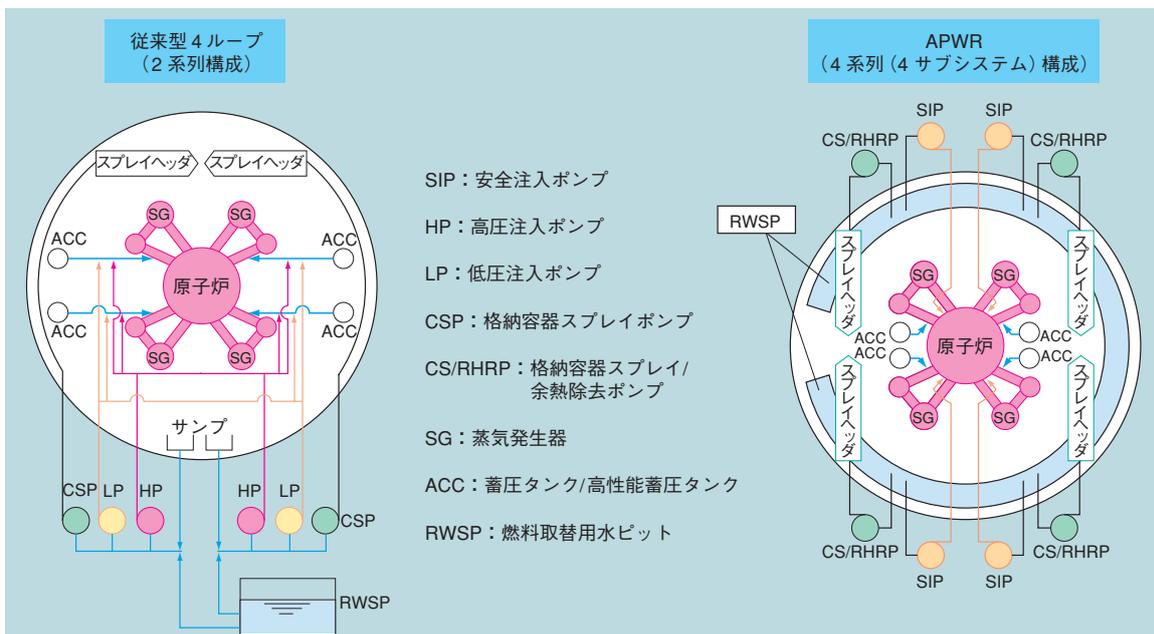


図4 非常用炉心冷却系

また、従来は原子炉格納容器の外に設置していた事故時の ECCS の水源となる燃料取替用水ピットを原子炉格納容器内の底部に設置する設計とした。これにより、事故時に炉心に注入された冷却水が水源であるピットに回収されることとなり、炉心冷却水の水源の切り替えを不要として安全性の向上を図る設計とした。

さらに、パッシブ概念を取り入れた新技術である高性能蓄圧タンクを採用した。高性能蓄圧タンクは、1次冷却材喪失事故（LOCA）時の初期に炉心冷却に必要な大流量注入と、その後の炉心水位維持に必要な小流量注入を、タンク内の流路構造を工夫することで外部からの動力を用いず（パッシブ）に切り替えることができる設備である。これにより、従来の低圧注入系の機能を蓄圧注入系に統合し、低圧注入ポンプを削除することで ECCS の系統構成の簡素化を図っている（図5）。

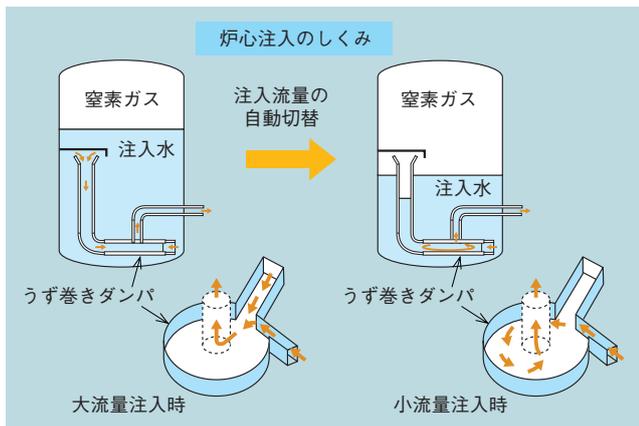


図5 高性能蓄圧タンク

### 3. 4 新型計装制御設備—新型中央制御盤、 総合デジタル制御・保護システムの採用

新型中央制御盤には、コンソールタイプのコンパクトな盤を採用し、すべての監視・操作をディスプレイのタッチ操作で実現している。機器の操作スイッチと必要な運転情報を一画面内に集約して表示させることにより、運転員の監視・操作性の向上を図っている（図6）。運転支援機能も充実し、万一プラントに異常が発生した際には、プラントの状態や機器の動作状況を自動的にチェックして、必要な情報を提供するなど、従来盤に比べ運転員の負担を約30%減少し、ヒューマンエラーは約50%減少する見通しを得ている。

### 3. 5 主要機器の大容量化

主要機器は、炉心の大出力化に対応して、大容量機器を開発し、高性能化や信頼性向上のための技術を採用し、その検証を行っている。蒸気発生器は、プラン



図6 新型中央制御盤（プロトタイプ盤）

ト電気出力のラインナップに応じて、伝熱面積を従来型4ループから大幅に増加した大型タイプを採用している（図7）。大容量化に伴う機器外形の増加を極力抑えるため、伝熱管サイズを従来の7/8インチから3/4インチに小口径化するなどして胴の外径増加を抑え、従来よりも性能向上を図った湿分分離器を採用して設置段数を低減することにより、高さ方向の増加を抑えた設計としている。これらの工夫によって、蒸気発生器の重量は、従来の設計思想のまま大型化するのに比べて約10%以上低減することができている。伝熱管のU字曲げ管部に設置する振れ止め金具については、支持点数を既設の最新プラントの6点から9点以上に増やして信頼性の向上を図っている。

蒸気タービンは、低圧タービン最終翼の長翼化（54インチ～74インチ翼の採用）や完全三次元流れ設計により翼損失を低減した高性能完全三次元翼群の採用などにより高効率化を図っている。また、回転時に隣接翼との接触により全周つづり構造となり振動応力の低減を図ったISB（Integral Shroud Blade）翼を適用し、信頼性の向上を図っている。開発した翼は実負

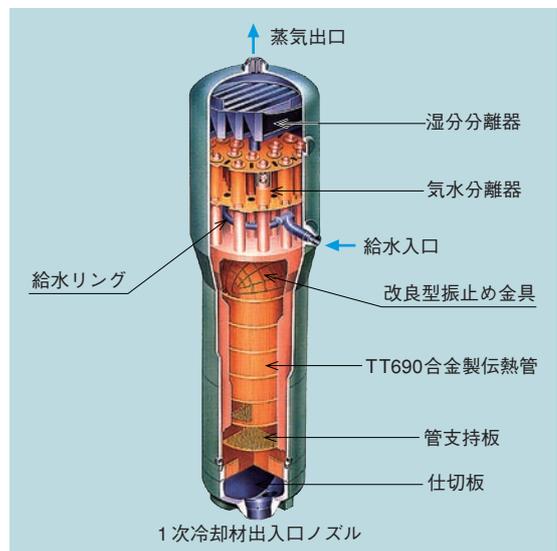


図7 高性能・コンパクト蒸気発生器

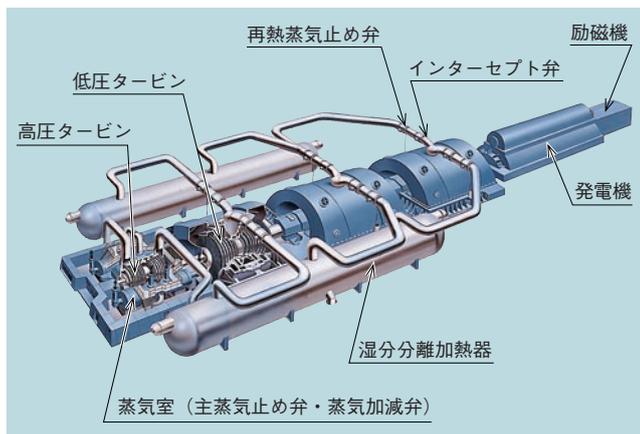


図8 大容量・高性能タービン発電設備

荷試験装置による実蒸気での試験を行い、性能及び信頼性を検証している(図8)。また、これらの新技術は、国内既設プラントのタービン取替にも適用を進めている。

#### 4. 今後の取組み

##### 4.1 国内新設プラントに向けた取組み

前述のとおり、APWR 初号機となる敦賀3, 4号機では、既に国による安全審査が進行中である。今後も標準 APWR について、国内電気事業者の個別ニーズにも応えながら、高い安全性、信頼性、経済性を有するプラントを逐次展開するよう取り組んでいく。

##### 4.2 海外展開に向けた取組み

米国では新設プラントの建設が途絶えて久しい中で、地球温暖化や原油価格の高騰を背景に原子力発電が見直され、2030年頃までに新設プラント数十基の需要が見込まれている。米国電力向けにカスタマイズした APWR である US-APWR は、2008年2月29日に標準設計認証(DC)の申請が米国原子力規制委員会(NRC)に受理され審査が開始されている。現在米国ルミナント電力(旧テキサス電力、本社、テキサス州ダラス)がコマンチェピーク3, 4号炉への採用を決定しており、他の電気事業者からも強い関心が寄せられている。

欧州においても原子力発電の再評価の機運が高まる中で、EU諸国向け仕様である EU-APWR の技術セ

ミナーを3月13, 14日にブリュッセルで開催した。EU-APWR は、欧州電力要求(EUR)への適合を目指す APWR で、US-APWR と同じく170万 kWe 級プラントとして審査を受ける予定である。

これらの海外展開は、国内で培った APWR 技術をベースに、海外の安全規制や電力要求に対応するもので、今後、海外の電気事業者からグローバルな支持が得られるものと期待している。

#### 5. まとめ

当社の確立した大容量の三菱標準炉 APWR プラントのラインナップと関連する国内外での取組みを紹介した。APWR は、国や電気事業者のご支援を受けながら、当社の PWR メーカーとしてのこれまでの経験と技術を集大成した標準プラントであり、今後も国内外の電気事業者からのニーズに応えながら、地球温暖化防止に貢献する中核技術として、グローバルな普及拡大に向けて取り組んでいく。

#### 参考文献

- (1) 軽水炉改良標準化計画・総合資料集、通産省・原子力発電課 監修、(1985)
- (2) 饗場洋一ほか、153万 kW 級改良型 PWR の特徴、三菱重工技報 Vol.35 No.4 (1998) p.246
- (3) 三宅芳男ほか、エネルギーの長期安定供給を目指して－原子力発電の昨日・今日・あした－、三菱重工技報 Vol.40 No.1 (2003) p.24
- (4) 金田正彦ほか、US-APWR の米国展開、三菱重工技報 Vol.43 No.4 (2006) p.15



鈴木成光



緒方善樹



西原幸夫



藤田司郎