

AP1000™のグローバル展開

Global Deployment of AP1000™ Third-Generation-Plus Nuclear Power Plant

野田 哲也 畠澤 守 大久保 修

■NODA Tetsuya ■HATAZAWA Mamoru ■OKUBO Osamu

ウェスチングハウス社 (Westinghouse Electric Company: 以下、WECと略記) は、革新的な加圧水型原子炉 (PWR) “AP1000™” を実用化し、グローバル展開を進めている。AP1000™では、静的安全システムの完全採用などにより、従来型PWRに比べて物量が大きく低減され、またモジュール工法や鋼板コンクリート (SC) 工法などの最新の建設技術も採用されており、建設費の低減と建設期間の短縮が実現されている。AP1000™は、既に中国で4基、米国で6基が契約済みであり、中国の三門・海陽サイトでは計4基の建設工事が順調に進められており、米国の2サイトでも先行工事が始まっている。更にWECは、世界各国の新規原子力建設計画へ向け、AP1000™の提案活動を加速している。

Westinghouse Electric Company (WEC) is promoting expanded global deployment of the AP1000™ pressurized water reactor (PWR), which is the only third-generation-plus nuclear power plant to have received design certification from the United States Nuclear Regulatory Commission (NRC). Based on the proven performance of WEC-designed PWRs, the AP1000™ not only achieves a significant reduction in the amount of equipment required compared with conventional PWR systems by making use of passive safety-related systems, but also makes it possible to reduce construction costs and shorten the construction period by means of advanced construction technologies such as modular construction techniques, steel-plate-reinforced concrete (SC) structures, and so on.

In China, four AP1000™ plants—two in Sanmen and two in Haiyang—are under construction on schedule. In the United States as well, the pre-construction of two out of six contracted plants is currently underway at the Vogtle site in Georgia and the V.C. Summer site in South Carolina. WEC is accelerating proposal activities in response to the increase in nuclear power plant construction plans in many countries throughout the world.

1 まえがき

2006年10月にWECが東芝グループの一員となり、PWRが新たに東芝グループの原子力プラントのラインアップに加わった。

WECは、WECが実用化し改良を進めてきたPWR技術をベースに、画期的な新規開発技術を導入し、革新的な原子炉“AP1000™” (図1) を実用化している。AP1000™は、プラントの安全性及び経済性を高めた第3世代+ (プラス) の原子炉として、唯一米国原子力規制委員会 (NRC) の設計認証 (DC) を取得している。

ここでは、そのAP1000™について、技術的な特徴を説明するとともに、東芝とWECが進めるグローバル展開の状況、建設プロジェクトの推進状況について述べる。

2 AP1000™の技術的特徴

AP1000™の技術的な特徴を、以下に述べる。

2.1 静的安全システムなどの採用

静的安全システム (Passive Safety-Related System) とは、ポンプなどの外部動力を使用せず、静的な手段で冷却などを行う画期的なシステムである。

AP1000™の安全システムは、非常時に蓄圧、重力や自然循

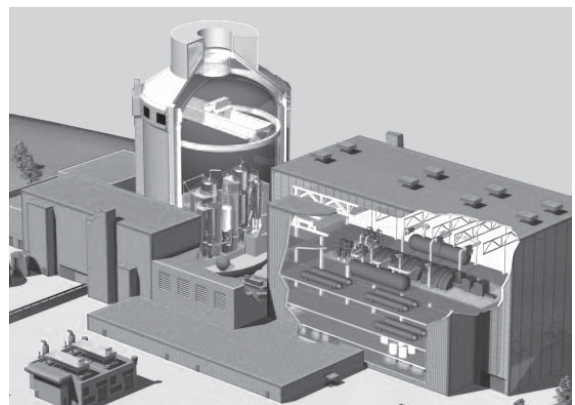


図1. 革新的原子炉AP1000™の概要 — AP1000™はWECがグローバル展開している新型PWRであり、第3世代+の原子炉として唯一米国NRCのDCを取得している。

Cutaway drawing of AP1000™

環で原子炉の崩壊熱除去あるいは原子炉へ注水を行う①静的炉心冷却系、原子炉系の破断事故時に自然循環で格納容器を冷却する②静的格納容器冷却系、及びシビアアクシデント (過酷事故) 時に原子炉容器キャビティに注水して原子炉容器外側から冷却することで原子炉容器内に熔融炉心を保持 (In-Vessel Retention) し、コアキャッチャーを不要とした③シビア

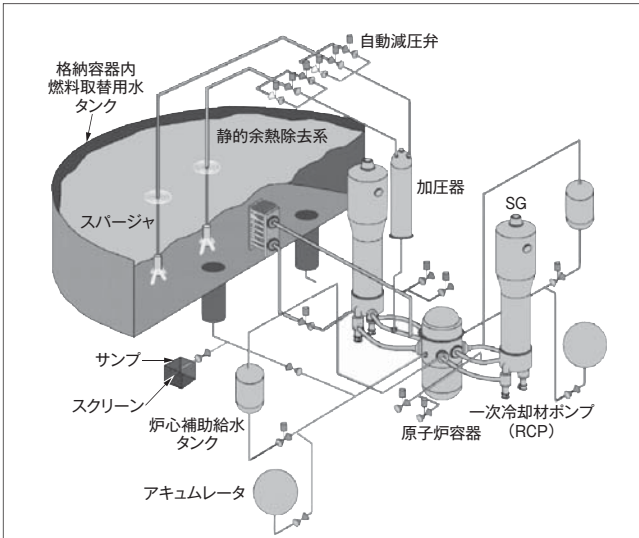


図2. 静的安全システム — 外部動力を必要とするポンプなどを使用せず、重力など自然の法則を利用した静的システムとして構成されている。
Passive safety-related system

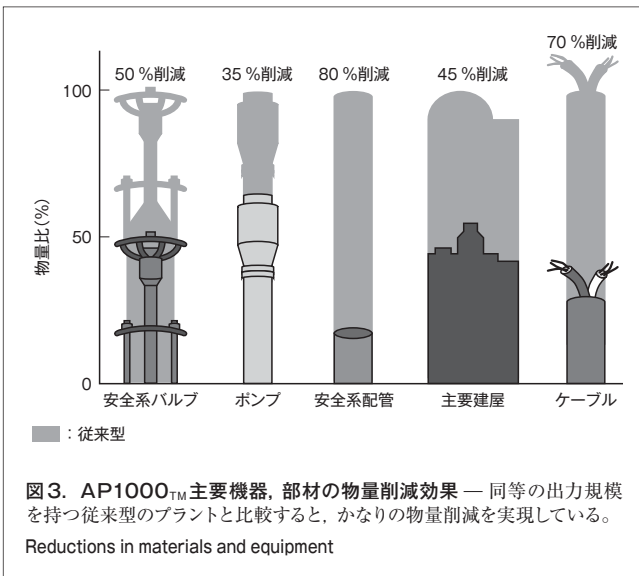


図3. AP1000_{TM}主要機器、部材の物量削減効果 — 同等の出力規模を持つ従来型のプラントと比較すると、かなりの物量削減を実現している。
Reductions in materials and equipment

アクシデント対策設備から構成される (図2)。

AP1000_{TM}では、この静的安全システムの完全採用により、安全系本体の構成を単純化するとともに、電源や冷却水などの付帯設備も簡素化している。この結果、事故時のシステム故障確率を下げた安全性の向上、運転員への負担軽減、物量削減 (図3) による建設費の低減、及びメンテナンス負担の低減を実現している。

そのほか、AP1000_{TM}では、大型の蒸気発生器 (SG) を使った2ループ構成として、従来の1,000 MWe級PWRの4ループ構成に比べ原子炉設備を簡素化している (図3)。

2.2 フルデジタル計装制御システムの採用

WECは、最新のデジタル技術を用いた計装制御システムを

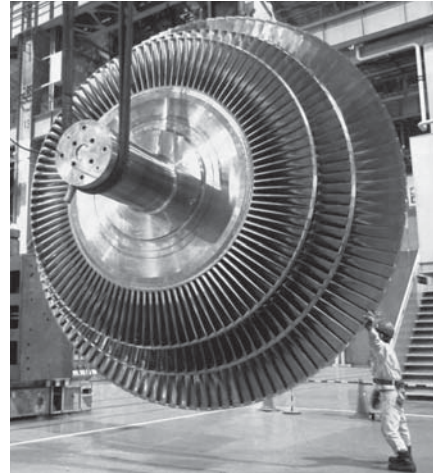


図4. AP1000_{TM}向け東芝52インチ級タービン (最終段翼) — AP1000_{TM}に最適な60 Hz対応タービンシステムを開発し、AP1000_{TM}標準システムとして、NRCへDCを申請中である。
Toshiba steam turbine for AP1000_{TM}

開発し、更にNRCによる製品認証も取得して、稼働中の原子力プラントの設備更新を進めてきた。AP1000_{TM}では、このデジタル計装制御システムを全面適用することで、制御設備本体を簡素化するとともに、ケーブルなどの付帯設備の物量を削減している (図3)。

AP1000_{TM}のデジタル計装制御システムは、プラントのDCの一部として、既にNRCの認証を取得済みである。

2.3 東芝高性能タービンの採用

東芝は、AP1000_{TM}のタービン系の責任者として、AP1000_{TM}向けの最適タービンシステムの開発、設計、及び供給を行っている。

この東芝タービンシステムは、52インチ級の低圧タービン最終段翼 (図4) と、各種高効率化技術を反映したもので、プラント電気出力を最大化することで、AP1000_{TM}の経済性向上に寄与している。

2.4 最新建設工法の採用

AP1000_{TM}では、機器、配管弁類、支持構造物、及び建築部材などを一体化したモジュール構造を、プラントの広範囲に適用している。また、従来の鉄筋コンクリート構造 (RC構造) に代えて、鉄筋の代わりに鋼板を補強材とする鋼板コンクリート構造 (SC構造) を一部に採用し、モジュール範囲の拡大とモジュールの大型化を図っている。更に、格納容器や大型モジュールなどでは、サイト構内で部分組立て後、一体で据付を行う大ブロック工法も採用している。

この結果、現地工事での作業量が大幅に低減し、ファーストコンクリート充てんから燃料装荷まで36か月の建設工期にめどを得ている。また、工場での製作範囲を拡大することで、製品の品質向上への寄与も期待できる。

なお東芝は、国内の原子力発電所建設において、これら最新の新設工法を開発、適用し、多くの経験を積んでいる。東芝は、AP1000_{TM}の工事計画にも参画して、その工事経験をAP1000_{TM}にも十分に反映している。

3 AP1000_{TM}のグローバル展開

3.1 中国

中国では、AP1000_{TM}の世界初号機となる中国浙江省三門サイト向け、及び山東省海陽サイト向けの計4基を、2007年7月に契約している。

WECは、米国工事会社とのコンソーシアム体制で、原子炉設備の設計をはじめ、主要機器の供給、一部現地工事、サイトサポートなどを担当しており、現在機器製造を推進している。また、4プラントともに、既に現地工事が開始され、2013年11月の初号機運転開始に向け、建設工事が順調に進められている。

更に中国では、三門・海陽サイトの後続3、4号機と、中国内陸部の新サイトでの建設が計画されており、中国の標準型炉として多くのAP1000_{TM}が建設される予定である。

3.2 米国

米国では、30年ぶりとなるEPC (Engineering Procurement and Construction) 契約を、サザン電力ボーグル発電所3、4号機向け、スキャナ電力VCサマー発電所2、3号機向け、及びプログレス電力レビー発電所1、2号機向けの計6基について、2008年に締結した。WECは、米国工事会社とのコンソーシアム体制で、設計、機器、工事を含めたプラント一括をEPC供給する。

先行するボーグル及びVCサマーサイトでは、既に先行工事を進めており、現在NRCにより審査中の建設工事許可 (COL) が認可される2012年11月に本体工事を開始する予定である。また、契約済みの3電力6基に加え、デューク電力リー発電所1、2号機、TVA電力ベラフォンテ発電所3、4号機、プログレス電力ハリス発電所2、3号機、フロリダ電力ターキーポイント発電所6、7号機の4電力8基がAP1000_{TM}を選定して、NRCへCOLを申請済である。

なお、サザン電力ボーグルプロジェクトは、2010年2月に米国政府の原子力融資保証を最初に取得した。これはAP1000_{TM}及びボーグルプロジェクトの経済性と信頼性が、米国政府にも評価された結果である。また、米国政府は、融資保証枠を追加する意向を示しており、米国における新規建設プロジェクトは、今後、更に加速されると考えている。

3.3 欧州

米国と同様、原子力カルネッサンスが始まった欧州では、各国で新規原子力の計画が進められており、WECはAP1000_{TM}の適用に向けた活動を加速している。

英国では、現在、AP1000_{TM}の設計認証を申請中であり、

審査対応を進めている。また並行して、東芝、WEC、米国及び英国の工事会社によるコンソーシアム体制で、プラント一括供給を目指した活動を進めている。そのほか、チェコや、ポーランド、イタリア、スウェーデン、スイスなどの各国で、AP1000_{TM}の導入検討を進めている。

3.4 インド

インドでは、インド国営の原子力発電公社 (NPCIL) 及びインド最大手の機械・工事会社であるLersen & Turbo社などと、AP1000_{TM}適用に関する検討を進めている。

また、インドのエンジニアリング会社であるInfotech社と提携し、設計事務所をムンバイに設立し、設計の現地化を開始している。

3.5 そのほかの国々

南米ではブラジルとアルゼンチン、北中米ではカナダとメキシコ、アフリカでは南アフリカとエジプト、そのほか東南アジア各国、中東各国などで新たに原子力発電所の建設が計画されており、WECはAP1000_{TM}の適用に向けた活動を加速している。

特にWECは、“We Buy Where We Build_{TM}”の方針の下、現地調達と現地化を進める方針であり、世界各国で現地サプライヤーを集めたサプライヤーシンポジウムを開催するとともに、現地企業と業務提携や技術移管などを含めた協力について検討を進めている。

4 AP1000_{TM}建設プロジェクトの進捗よく

4.1 特殊機器の確証

AP1000_{TM}では、静的安全システムを実現するために、キャンド型原子炉再循環ポンプや大口径爆発弁などの特殊機器を新規に開発している。これら特殊機器の設計と検証は既に



完了し、現在製造が進められており、プラントの建設工程に合わせ、計画どおり出荷する予定である。

(1) 一次冷却材ポンプ 一次冷却材ポンプ (RCP) には、軸封部をなくした密閉型のキャンドモータポンプを採用した。このポンプは、SGの下部に2台が直接接続される構成で、全長約7m、質量約90t、定格6,000kWの大型ポンプである。このRCPについては、既の実規模の検証試験を行い、性能と特性に問題がないことを確認している(図5(a))。

(2) 爆発弁 静的安全システムの主要弁には、火薬の爆発力を駆動源とし、非常用の駆動電源を不要とした爆発弁 (Squib Valve) を採用した。沸騰水型原子炉 (BWR) では、安全系の一部で1~2インチ級の小口径の爆発弁が使用されているが、AP1000_{TM}では、8~14インチ級の大口徑の爆発弁を新規に開発し採用している。この爆発弁についても、既の実規模の検証試験を行い、性能と特性に問題がないことを確認している(図5(b))。

4.2 中国AP1000_{TM}の建設状況

AP1000_{TM}初号機となる三門1号機(図6)は、2009年4月にファーストコンクリート充てん(a)を実施し、本体工事を開始した後、現在も順調に建設が進められている。既に、SC構造大型モジュールの据付(c)を完了し、格納容器(CV)のボトムヘッド(b)から上部3段目リング(d)までの据付を完了している。また、中国のほかの3基も既に着工しており、いずれも順調に建設が進められている。AP1000_{TM}初号機となる三門1号機の商業運転開始は2013年11月、4基目の海陽2号機は2015年3月を予定している。

これら先行号機の建設で得られた知見と経験は、AP1000_{TM}の設計及び工事計画にフィードバックされており、これらの経



資料提供：サザン電力

図7. サザン電力ボーグルサイト(2010年4月) — 米国政府の原子力融資保証を最初に取得したサザン電力のボーグルサイトでの先行工事のようである。

Vogtle site of Southern Nuclear Operating Company in April 2010

験を生かして、後続号機では更にプロジェクトの信頼性を上げることが可能である。

4.3 米国AP1000_{TM}の建設状況

先行するボーグル及びサマーサイトでは、2012年11月に予定している本体工事の開始に向け、掘削や埋め戻し、ヤード設備据付、仮設備据付などの先行工事が順調に進められている(図7)。米国でのAP1000_{TM}初号機の運転開始は、2015年4月を予定している。

5 あとがき

ここでは、WECのAP1000_{TM}のグローバル展開の状況と、設計及び建設工事の進捗状況について述べた。また、東芝とWECの両社の協力について述べた。

東芝とWECが連携体制を組んでから4年が経過し、具体的な成果と効果が出てきている。今後も、両社協力のもとAP1000_{TM}を世界各国の顧客に提供できるよう、更に取組みを進めていく。



野田 哲也 NODA Tetsuya

電力システム社 WEC統括事業部 WEC統括技術部長。
原子力プラントの設計、及びプロジェクト管理業務に従事。
WEC Coordination Div.



畠澤 守 HATAZAWA Mamoru

電力システム社 原子力事業部 原子力技術部長。
原子力プラントのプロジェクト管理業務に従事。
日本原子力学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



大久保 修 OKUBO Osamu

電力システム社 原子力事業部 原子力タービンシステム設計部長。原子力タービンシステム設計に従事。
日本機械学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.