

原子カプラントの最新技術動向

Trends in Advanced Technologies for Nuclear Power Plants

須藤 亮

■ SUDO Akira

東芝は、原子カプラントの安全・安定運転の確保や経済性向上の観点から、運転中のプラントに対しては高経年化対応と生涯発電量の増大技術の開発を、また、新規に建設するプラントではいっそうの経済性向上はもとより、革新的安全システムを確立した世界最高レベルの次期・次世代炉の開発を推進しており、このために、多様なニーズに対応した最先端の要素やシステム技術を開発している。また、サイクル・バックエンドでは、次世代燃料サイクルの実現と環境負荷低減のための循環型社会成立に向けた廃棄物の発生抑制、再利用、再資源化に向けた技術開発、更には、超電導応用技術や将来の原子力の多目的利用に向けた原子力水素製造システムなどの先端技術開発に取り組んでいる。

Toshiba has been tackling technical challenges to secure nuclear power plant safety, stable plant operation, and high utilization of increasingly aged plants. Our final goal is to maximize the total electric power output throughout the plant life with minimum construction costs, while developing plants with the world's highest standard of safety. We have also been contributing to the establishment of the nuclear fuel cycle, and to the management and disposal of radioactive waste. In addition, we are promoting the establishment of future hydrogen production technologies using nuclear energy.

原子力を取り巻く環境

エネルギー基本計画において、原子力発電はエネルギーの安定供給及び二酸化炭素(CO₂)発生抑制の観点から国の基幹電源として位置づけられており、その役割はますます重要となっている。また、最近の原子力発電を取り巻く環境はプラントの高経年化、電力自由化の拡大、及び規制環境の変化と、従来に増して安全性と経済性の向上が求められている。

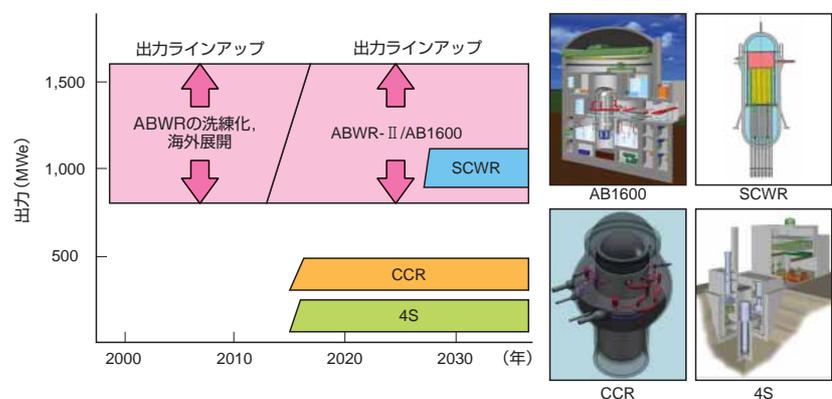
東芝は、社会のニーズに応える長期的展望に基づき、原子力の安全性と経済性の両立を目指して、迅速かつ精力的に技術開発を推進している。

以下に当社の取組みについて述べる。

次期・次世代炉

当社は、その時点の最新技術を適用しつつ、国内軽水炉の約40%の建設を手がけ、原子力発電の安全性、信頼性及び経済性の向上に貢献してきた。

次期・次世代炉のラインアップ化



2010年代前半までに建設が予定される国内外プラントでは、更なる改善技術を活用することにより、洗練化した世界標準のABWRを提供する。また、様々な電力需要に対応するため、800～1,600 MWe級の出力ラインアップを整備する。

2010年代後半以降に建設されるプラントを対象とする次世代炉では、世界最高

水準の安全性、他電源に対して競争力のある経済性、及び多様な立地条件への適応性が求められる。この要求に応えるため当社は、大出力炉としてAB1600、AB1000(ABWR-IIの東芝改良案)及びSCWR、中小出力炉としてCCR及び4Sの開発を推進している。

また、将来のニーズの多様化に対応するために、次期・次世代炉のライン

アップ化を進めている(囲み記事参照)。

■ 次期炉への取組み

実績のある改良型沸騰水型原子炉 (ABWR: Advanced Boiling Water Reactor) を洗練化することにより、経済性の向上及び信頼性と運転保守性の向上を図っている。ABWRの洗練化には、ポストBT (Boiling Transition) 基準適用によるRIP (Reactor Internal Pump) 駆動電源の合理化や、大容量SRV (Safety Relief Valve) の導入などがある。また、電気出力を増加させる高性能タービンの採用、建設工期短縮化のための大型モジュール工法の適用、更に、運転領域拡大による所内負荷、燃料コスト、定検コストの低減などがある。

また、様々な電力需要に対応するため、出力ラインアップ化の整備にも取り組んでいる。大出力はスケールメリットを最大限に生かした1,600 MWe級、中出力は機器構成の最適化によりスケールデメリットを解消し1,000 MWe級及び800 MWe級のABWRを開発中である。

■ 次世代炉への取組み

2010年代後半以降に建設される次世代炉には、最新技術を駆使したいっそうの安全性と他電源に優る経済性、及び立地のフレキシビリティの向上が求められている。

当社は、大出力炉としてAB1600、AB1000 (電力共同研究で開発を進めてきたABWR-IIの東芝改良案) 及び超臨界圧水冷却炉 (SCWR: Super-Critical Water cooled Reactor)、中小出力炉としてコンパクトPCV 中小型BWR (CCR: Compact Containment BWR) 及び小型高速炉 (4S: Super-Safe, Small and Simple) を開発している。

AB1600及びAB1000は、ABWRの実績をベースとし、静的・動的機器を最適に組み合わせたハイブリッド安全系を導入することで、安全性の向上と簡素化を目指している。

SCWRは、超臨界圧水を用いることで、軽水炉の熱効率が約1.3倍の44%へと大幅に向上することが見込まれる。気水分離系や再循環系の削除などによりシステムを簡素化した中大型向きの原子炉で、米国エネルギー省の第VI世代原子炉に採択されている唯一の軽水炉である。

日本原子力発電 (株) の委託を受けて開発を進めているCCRは、出力300~400 MWe級の小型自然循環BWRである。小型化に伴うスケールデメリットを克服するブレイクスルー技術として、PCVの小型・高耐圧化を行い、それに伴う安全系の簡素化が特長である。

4Sは、10~50 MWe級のナトリウム冷却炉である。30年間燃料を交換しないで運転ができ、メンテナンスフリーで運転が容易という特長を持つ地域密着型の小型炉であり、電力中央研究所との協力の下で開発を進めている。

■ 運転プラント

高経年化プラントの増加と規制環境の変化のなかで、安定運転維持と稼働率向上を目指し、計画外停止の極小化と速やかなプラント立上げが重要なテーマとなっている。

規制面では、2003年10月に新検査制度、2003年12月に炉内構造物への維持規格の導入が図られた。これによって、維持規格に対応した検査・評価技術や短工期で復旧可能な補修技術の構築が求められるようになった。

経済性向上対策としては、定熱運用をベースとしたプラント効率向上により発電量が増大されている。また、将来の長期運転サイクルの採用による稼働率向上や、プラントの性能向上と出力増加に向けた技術開発が進められている。これらの運転プラントに対する取組みの詳細を以下に示す。

■ 安定運転維持と稼働率向上

計画外停止の極小化に向け、予防保

全の確実な実施と状態監視保全でリスク低減を図る。計画的な点検を実施し、損傷が発見された場合には維持規格で評価するなど、速やかなプラント立上げが望まれている。これに対応するため、図1に示すような検査・補修技術を開発している。

SCC (応力腐食割れ) に対しては、影響因子である材料、応力、環境の各要因に対応した予防保全が効果的である。炉内構造物に対してはファイバレーザピーニング、再循環系配管へは改良IHSI (Induction Heating Stress Improvement) など、確実に残留応力を低減し応力を圧縮側にする予防保全技術を開発している。炉内検査技術としては、欠陥検出とサイジングが確実なフェーズドアレイUT (超音波探傷検査) 技術、また、炉内への短工期補修技術としてシュラウドタイロッド工法とEDM (放電加工) 工法及び水中レーザき裂封止、更に、検査と補修を支える水中ビークルや遠隔駆動装置を開発している。

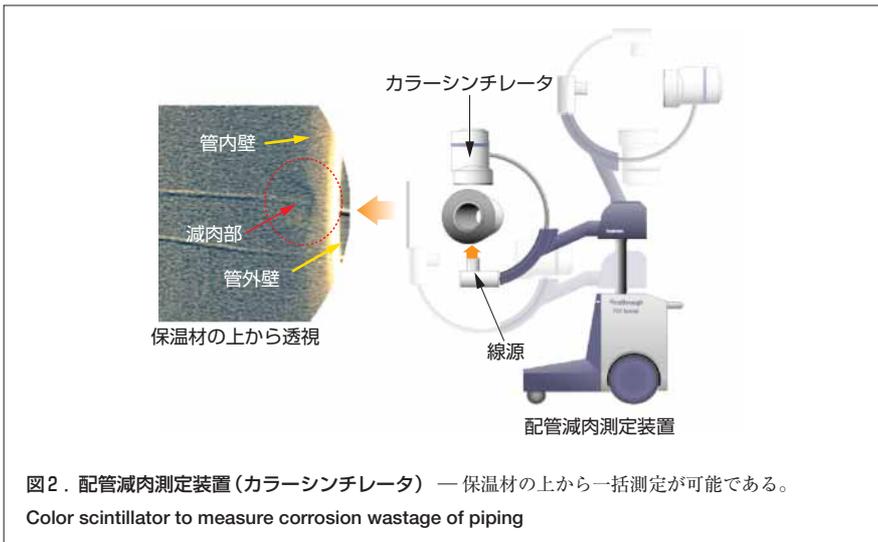
図2の透過式配管減肉測定装置は、感度帯域の広いカラーシンチレータを使用する最新の内部透視技術であり、保温材の上から配管内部状況の確認や肉厚の一括測定が可能である。

また、定期的に全数点検していく従来の時間計画保全から、機器状態の診断により点検を実施していく状態監視保全への移行によって、長期サイクル運転に向けた保全の合理化が図れる。

更に、保全業務のいっそうの効率化とタイムリーな支援を目指し、IT (情報技術) を活用した遠隔運転保守サービス e-TOPSTM を構築し、サービスの提供を図るとともにコンテンツの拡充に努めている。

■ 性能向上・出力増加技術

定格熱出力運転下での効率向上に向け、タービン系では、タービン本体の翼形状最適化や漏えい損失低減などによる高圧・低圧タービンの高性能化、



及び新型管配列の主復水器チタン管リプレースなどにより性能向上が図られる。一方、原子炉系では、低圧損セパレータへの交換や原子炉再循環ポンプの電源インバータ化などにより所内動力が低減される。更に、改良した9×9型燃料の採用と大規模な設備改善により、熱出力増加を図ることが可能である。

■ プラント統合保全

統合保全では、炉内リフレッシュと前述の性能向上、あるいは出力増加対策

を1回の定期検査で集中実施する。これにより、安全・安定運転の維持と電気出力の増加が最小の投資で効率的に実現し、運転プラントの生涯発電量を増大することができる。

■ サイクル・バックエンド

当社は、日本原燃(株)の六ヶ所再処理工場を中心とした軽水炉サイクルの確立と高速炉サイクルの実現に向け支援している。更に、放射性廃棄物の

発生抑制 (Reduce), 再使用 (Reuse), 再資源化 (Recycle) の3Rの実現に向けた技術開発に取り組んでいる。

■ 軽水炉サイクルの完結

六ヶ所再処理工場は、本格的な試運転段階を迎えている。当社はこれらの設計と建設に積極的に協力し、ウラン試験前の異常事象対応訓練のための保安訓練シミュレータを納入している。

また、使用済み燃料中間貯蔵の必要性が高まっており、図3に示す当社の金属キャスクは、長期保管に対する高い信頼性と燃焼度クレジットによる燃料配置の稠密(ちゅうみつ)化によって大容量化を図っている。更に、ボルト貯蔵やプール貯蔵などのニーズに応じた中間貯蔵技術を確認している。

■ 高速炉サイクルの実現

ウランの有効利用のため、高速炉サイクルの実現を目指して次世代再処理技術が開発されており、当社は、熔融塩電解技術による乾式再処理技術の開発に注力している。乾式再処理は、使用済み燃料からウランとプルトニウムを直接回収できるため、プロセスがシン

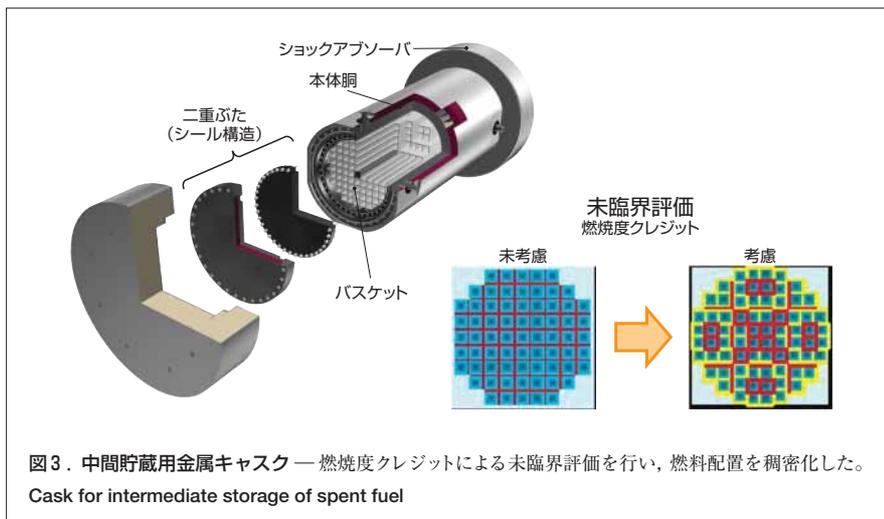


図3. 中間貯蔵用金属キャスク — 燃焼度クレジットによる未臨界評価を行い、燃料配置を稠密化した。
Cask for intermediate storage of spent fuel

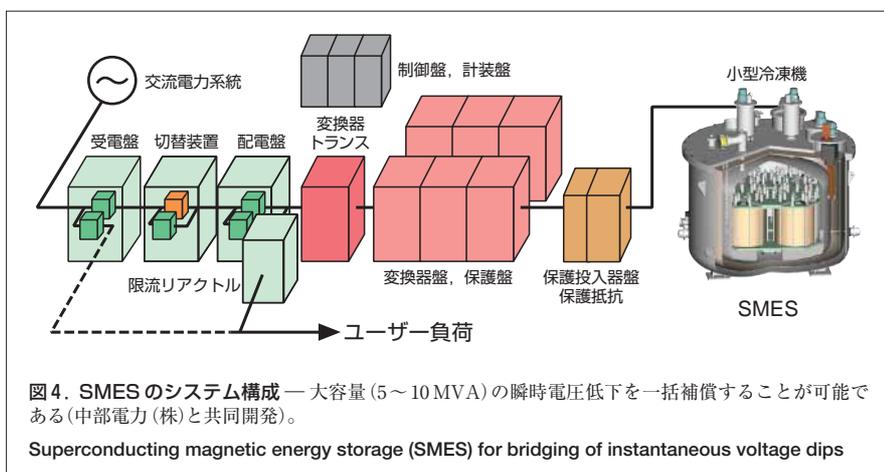


図4. SMESのシステム構成 — 大容量(5~10 MVA)の瞬時電圧低下を一括補償することが可能である(中部電力(株)と共同開発)。
Superconducting magnetic energy storage (SMES) for bridging of instantaneous voltage dips

ブルとなり、高い核拡散抵抗性を持っている。更に、高レベル廃棄物が低減でき、優れた経済性も備えている。

■ 廃棄物発生量の低減と減容

当社は、バックエンドコスト低減のため、放射性廃棄物の発生量抑制技術と合理的な減容技術の開発に取り組んでおり、高線量樹脂の発生量低減のための高温電気脱塩装置や、減容のための超臨界水分解装置などを開発している。また、クリアランス法制化に向けた廃棄物除染や放射能検認装置の開発も既に実用化段階であり、廃棄物の再利用と再資源化への貢献を目指している。

以上のように当社は、原子力分野における環境負荷の低減に向け、放射性廃棄物や使用済み燃料の3R技術を

積極的に開発している。

先進エネルギー技術

当社は核融合、加速器、超電導、水素製造など先進エネルギーの実用化に取り組んでおり、加速器では国内外の大型放射光施設の建設に参画している。また、環境負荷の少ない“水素エネルギー社会”を目指し、原子力エネルギーを利用した水素製造技術に取り組んでいる。

■ 超電導応用製品の開発

超電導技術を応用した瞬時電圧低下補償用超電導電力貯蔵装置(SMES)のシステム構成を図4に示す。落雷など系統事故時の瞬時電圧低下を補償し、

5~10 MVAの大容量電流を一括補償することが可能なもので、中部電力(株)との共同開発により実用化している。

■ 原子力水素製造システムの開発

水素は、CO₂を発生しない将来のエネルギーとして期待されている。当社は、原子力エネルギーを利用した水素製造法の開発に取り組み、原子炉のタイプ(冷却材温度領域)に応じた3種類の水素製造法の技術開発を行っている。

300℃以下の軽水炉温度でも適用可能なジメチルエーテル(DME)の水蒸気改質法、約500℃の高速炉の温度以上で適用可能な高温水蒸気電解法、及び約900℃の高温ガス炉の温度で適用可能な熱化学法(IS法)の3種である。このように当社は、様々な炉型や運転温度を想定した水素製造法の技術開発を進めている。

先端技術開発に向けて

当社は、原子力発電所の設計、建設、保守から処理・処分に至るプラントライフサイクルにおいて、ニーズに沿った先端技術の開発を重点的に推進し、安全性、信頼性、経済性の更なる向上を目指している。また、核融合や原子力水素製造などの先進エネルギー開発を推進し、将来にわたるエネルギーセキュリティの確保と地球環境との調和に、全力で取り組んでいく。



須藤 亮
SUDO Akira

電力・社会システム社 原子力技師長
Industrial and Power Systems & Services Co.