

日立原子力事業(軽水炉)の展望

Prospect of Hitachi Nuclear Business (Boiling Water Reactor)

吉村 真人 Masahito Yoshimura

木下 詳一郎 Shoichiro Kinoshita

有馬 博 Hiroshi Arima

多田 伸雄 Nobuo Tada

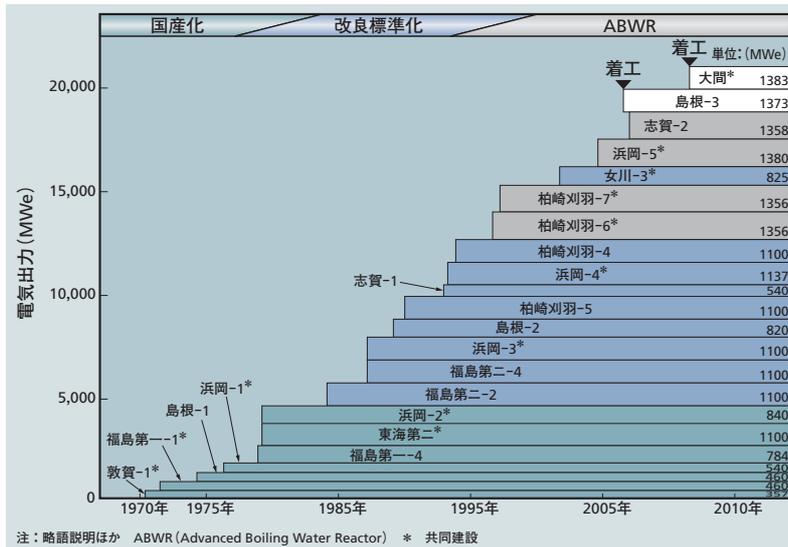


図1 日立の沸騰型原子力発電所建設実績 (建設中を含む。)

日立は、30年以上の長期にわたり継続的に原子力発電の建設を実施してきた。現在は2基を建設中であり、その累積電気出力は2万MWeを超える。

日立原子力の発展

日立製作所の原子力事業は、1953年ごろから種々の研究開発を始めて以来、わが国の原子力の発展と歩を合わせ、研究炉・発電用軽水炉の国産化や改良標準化をリードするとともに、**新型転換炉^(a)**、**高速増殖炉^(b)**、**核燃料サイクル施設^(c)**、**核融合炉^(d)**、加速器などで主体的な役割を担ってきた(図1参照)。

日立はこれまで主として国内の市場に注力してきたが、原子力事業を取り巻く環境はここ数年間で大きく変化してきている。世界的に原子力発電に対する再評価が進み、多くの国で原子力開発が再び立ち上げられ、新規導入の検討が行われている。日立原子力事業の発展にとっては、今後拡大が期待されるグローバル市場への進出を着実に進めることが必要で

ある。こうした展望の下、2007年にGE社 (General Electric Company) との原子力事業の統合を行い、現在に至っている^{1), 2)}。これに伴い、日立製作所の原子力事業は新会社日立GEニュークリア・エナジー株式会社 (以下、日立GEと記す。) に承継されたが、引き続き日立製作所の多くの事業部・研究所および日立グループ会社と一体になって事業を進めている(図2参照)。なお、本特集においては、以降の論文も含めて、特に区別が必要な場合を除き、日立製作所および日立GEを区別せずに「日立」と記載することとする。

日立原子力事業の強みは、設計・製造・建設から保守サービスに至る広範囲の製品・サービスを総合的に提供できる総合力であり、また、それを担う人材・技術力が、継続的な原子力発電所建設によって維持され発展してきたことにある。日立原子力事業の使命は、こうした強みを核として、信頼される製品・サービスを、国内外の顧客に将来にわたって提供し続けることにある。

現在、国内では、複数の新規原子力発電所の建設ならびに計画が進行中である。また、予防保全分野では、高経年化に向けた高度予防保全技術への取り組みなどを行っている。一方、海外に向けては、国内での建設実績を生かした、海外プロジェクト推進の仕組みづくりに取り組んでいるところである。

日立原子力事業の主要な分野である**軽水炉^(e)**の国内新設・予防保全・海外展開について、それぞれの現状と今後の展望について以下に概説する。

(a) 新型転換炉

日本が独自開発した炉形式。減速材に中性子吸収の少ない重水を用いるため、核燃料の利用効率が高い。また、燃料に天然ウランが使用できることや、使用済燃料の再処理によって得られるプルトニウムを有効利用できるなどの特徴を持つ。原型炉の「ふげん」はMOX(ウラン・プルトニウム混合酸化物)燃料の燃焼実験にも使用され、データ収集に貢献した。

(b) 高速増殖炉

ウランには核分裂しやすい(燃えやすい)ウラン235と、核分裂にくい(燃えにくい)ウラン238があり、天然ウランの99%以上はウラン238である。通常の軽水炉原子力発電に使用するウラン燃料は、核分裂しやすいウラン235の割合を3~5%に高めている。高速増殖炉では、ウラン238を核分裂しやすいプルトニウム239に効率よく変換することで、消費した以上の燃料を生み出すことができる。これにより、プルトニウムを利用しない場合に比べ、ウラン資源の利用効率が飛躍的に向上する。

国内新設の動向

現在、日立が建設している中国電力株式会社島根原子力発電所3号機と電源開発株式会社大間原子力発電所は、国内でそれぞれ5基目、6基目となる**改良型沸騰水型原子炉 (ABWR)^(f)**である。

ABWRは従来の沸騰水型原子炉技術をベースに、国内の電力会社とプラントメーカー、および米国GE社が共同開発したもので、沸騰水型原子力プラント技術の集大成と言える。日立は、これまでの国内6基すべてのABWRプラント建設に携わり、設計の最適化と標準化を図るとともに、豊富な建設経験に基づく建設技術の高度化を図ってきている。

2011年12月に運転開始予定の島根原子力発電所3号機は、北陸電力株式会社志賀原子力発電所2号機に続いて日立がフルプラントを受注したものであり、原子炉主要機器・タービン・発電機・復水器などは日立製作所、原子炉の圧力容器の製造はバブコック日立株式会社、

建設工事は株式会社日立プラントテクノロジーと、基本計画から、主要な機器の製造、原子炉および機器の据付け、引き渡しまでの全工程を日立グループ企業が一体となって取り組んでいる。

また、2014年に運転開始予定の大間原子力発電所は、世界で初めて全炉心に**ウラン・プルトニウム混合酸化物 (MOX) 燃料^(g)**の利用を可能にしたABWRであり、日立は原子炉周りの設備を受注している。

今後10年の間に運転開始が計画されている国内の沸騰水型軽水炉プラントは、すべてがABWRであり、今後とも基幹電源として、いっそう習熟した技術を基にして信頼性の高いプラント建設が進められていくこととなる。日立および日立グループ企業はこれまでの経験を生かして、信頼性の高いモノづくり、より高度化した建設技術の導入などにより、今後とも国内の原子力プラントの建設において主導的な役割を果たしていこうとしている。

(c) 核燃料サイクル施設

ウラン鉱山での天然ウラン採掘から、精錬、ウラン燃料加工、発電所での使用、使用済燃料の再処理、再利用に至る一連のサイクルを核燃料サイクルと言う。核燃料サイクル施設には、その流れに対応して、核燃料物質の製錬・加工施設、使用済燃料貯蔵施設 (中間貯蔵施設)、再処理施設などがある。

(d) 核融合炉

21世紀後半の実用化に向けて世界中で研究が進められている未来の発電技術。現在の原子力発電ではウランやプルトニウムの核分裂のエネルギーを利用しているのに対し、核融合炉では水素などの核融合エネルギーを利用する。原理としては、太陽をはじめとする恒星が熱エネルギーを発生させているのと同様である。核融合炉の実用化により、核分裂による原子力発電が抱えるウラン資源の問題、高レベル放射性廃棄物の問題などが解決できると期待されている。

(e) 軽水炉

原子力発電には軽水炉、ガス炉、重水炉などのタイプがある。軽水炉は、軽水 (普通の水。比重の重い重水に対してこう呼ぶ。) を、原子炉の冷却材と中性子の減速材を兼ねて用い、燃料に低濃縮ウラン燃料を使用する。軽水は中性子の減速効果が大いことから、軽水炉は他のタイプと比べて小型で大出力化しやすいなどの利点があり、世界の原子炉の80%以上を占めている。



図2 国内軽水炉の建設体制

日立GEニュークリア・エナジー株式会社を中核とし、日立製作所および日立グループが一体となり、国内の原子力発電所の建設を進めている。

(f) 改良型沸騰水型原子炉 (ABWR)

ABWRはAdvanced Boiling Water Reactorの略。軽水炉は沸騰水型と加圧水型に大別される。沸騰水型は、冷却水が沸騰した状態で運転されることから、こう呼ばれる。原子炉圧力容器が蒸気発生装置を兼ね、そこで発生させた蒸気を直接タービンへ送り、発電する。これに対して、加圧水型（PWR：Pressurized Water Reactor）は、冷却水に高い圧力をかけて水の沸騰を抑え、高温高压水の状態で運転される。その高温高压水を蒸気発生器に送り、発生させた蒸気をタービンに送る方式。ABWRは、従来型のBWRに比べ、安全性・信頼性の向上、運転性・操作性の向上、経済性の向上、放射性廃棄物の低減などの点で優れている。

(g) ウラン・プルトニウム混合酸化物 (MOX) 燃料

ウラン235の代わりに、使用後の燃料から取り出したプルトニウムを約10%、ウランを約90%の割合で混合した燃料をウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX：Mixed Oxide）燃料と呼ぶ。このMOX燃料を軽水炉原子力発電所で利用することを「プルサーマル」と言い、海外ではフランス、ドイツ、ベルギーなどを中心に30を超える発電所でMOX燃料が使用されている。

(h) SCC

Stress Corrosion Crackingの略。原子炉の構造材や配管などに使用されるステンレス鋼のような材料は、腐食環境下においても、表面の薄い膜で腐食の進行を防いでいる。一方で、材料に対する引張応力と腐食環境の相互作用によって、材料にき裂が生じ、時間とともに拡大してしまうという現象が起きることがある。これをSCC（応力腐食割れ）と呼ぶ。SCCは、材料・応力・環境のうち一つでも改善すれば発生が防げることが実証されており、さまざまな対策方法が開発されている。

予防保全事業への展望

国内の既設炉に関しても、施設の有効活用の観点からプラント信頼性向上と稼働率向上が強く求められている。

プラントの信頼性向上のため、既設炉の高経年化対応として、原子炉機器をはじめとした主要機器に対する大型保全工事が計画的に実施されている。また、プラント稼働率の向上に関しては、運転期間の延長・状態監視保全による信頼性向上・各種点検技術の向上による定期検査期間の短縮などの取り組みがなされている。

一方、新潟県中越沖地震による東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所への被害を受け、同発電所の地震後の健全性確認・耐震強化工事や、全原子力発電所に対して新耐震指針を適用した耐震性に対する評価、裕度向上工事が実施されている。

原子力発電所に対する耐震性の評価・裕度向上工事は全原子力発電所が対象となるため、耐震解析・評価にかかわる設計者の大幅な増員を図り、取り組んでいる。また、耐震性の確認のための各種実証試験へも積極的に参画している。

今後、原子力発電所の高経年化に合わせて、プラントライフを考慮した、よりきめ細かい保全計画の立案が重要となってくる。これにあわせ、世界的に進んでいるプラントの出力向上についても、今後、日本において採用されていくものと考えられる。出力向上を実施するにはプラント全体に対する広範な影響評価が必要であり、先行している米国の実績を取り入

れながら提案していくとともに、高効率タービンをはじめとする最新技術を取り入れた高効率機器の開発もあわせて実施していく（図3参照）。

以上のように、原子力発電の保全分野に対するニーズはますます高まってくるのが予想され、これに対し日立としては、技術者の育成、各種の保全工法や検査手法の開発を継続し、原子力発電所の稼働率の向上に寄与していきたい。

海外事業への挑戦

現在、世界各国で新規原子力発電所の建設計画が進行中であるが、中でも早期の建設が期待される北米は、日立として最も注力している市場である。米国では30基を超える新規建設計画が公表されており、建設運転一括認可（COL：Combined Construction and Operating License）の申請が相次いで提出されている。日立は、パートナーであるGEH（GE-Hitachi Nuclear Energy Americas LLC）とともに、ESBWR（Economical and Simplified Boiling Water Reactor）およびABWRの提案を複数の電力会社に行っている。

こうした米国市場への取り組みに際して特徴的なことは、日立に対する顧客の期待が、主要機器の提供のみならず、モジュール工法をはじめとした建設技術と、国内建設で工期順守を実現している建設管理力に向けられている点である。1970年代後半以降、新規原子力の発注が途絶えていた米国において、許認可リスクとともに建設コストの増大が顧客にとって最大のリスク要因となっている。この間、継続的に原子力発電所建設を続け、短工期かつ工期順守を実現してきた日本の経験が注目されている主因である。

このような状況は、日立にとって大きな事業機会であるとともに、これまでにないチャレンジが求められている。日立の海外原子力経験は1970年代にGE社の下請けとしての原子炉主要機器輸出に始まり、1980年代には当時SCC^(h)対策がピークを迎えていた米国に取り替え用配管の

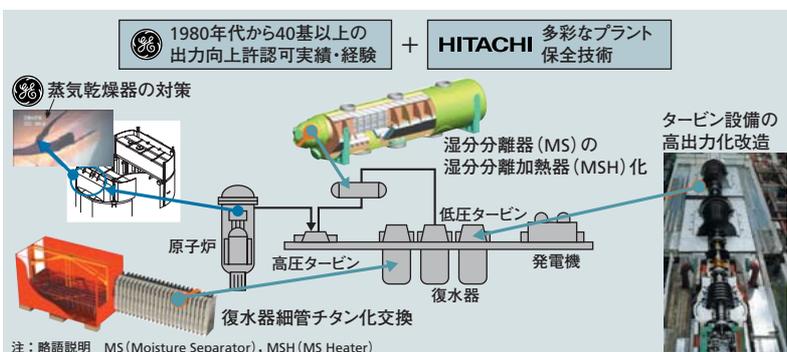


図3 出力向上への対応技術
経験の豊富な米国GE社の実績を取り入れながら、日本のプラントに即した出力向上の提案を行っていく。

納入などを行い、1990年代に入って台湾・龍門発電所向け原子炉機器納入（GE社の下請け）、中国・秦山原子力発電所向けタービン・発電機納入などを行ってきた。いずれも高品質の製造技術を強みとした機器輸出であった。建設技術や建設管理といった部分は、国内での成功体験があるとは言え、国内経験を海外での建設に生かすためには多くの課題がある。機器調達やモジュール製作拠点といったサプライチェーン確保のほか、米国における建設会社とのパートナーリングを通じて最適な建設工法・工程を確立することが必要であり、現在はこうした体制の確立に取り組んでいるところである。

米国以外にも幾つかの国において具体的な新設プロジェクトが進められており、それぞれの地域の状況に応じた対応を行っている。カナダで日立が「チームCANDU (Canada Deuterium Uranium)」の一員としてタービン設備の主要機器供給を担当しているほか、ベトナム、タイなどのアジア諸国や、UAE（アラブ首長国連邦）、トルコといった中東地域の原子力計画に対しても積極的な役割を担っていきたいと考えている。

また、GE社とのアライアンスを通じた活動は海外新規建設に向けた協力だけではない。両社が有する技術を相互に活用したサービス事業の拡大、研究開発や調達、製造といった事業活動の

あらゆる局面でシナジーによる効率化・価値創造に取り組んでいる。

原子力事業の未来を切り開く

日立の原子力技術に世界市場が注目している現在の状況は、これまでの国内における建設と予防保全事業において、信頼される製品・サービスを提供し続けてきた実績が評価された結果と受け止めている。拡大する世界市場において、将来にわたってこうした信頼を確固たるものとし、事業を発展させていくためには、現在建設中および計画中の国内建設の着実な推進と、予防保全技術の高度化による高稼働率の実現を通じて、日立の技術を常に世界最高の水準に維持することが重要と考える。確かな技術基盤に支えられた信頼される製品を、各国の事業環境に応じたパートナーとの協業の下で、グローバル市場に提供していくことが日立原子力事業のめざす発展の姿である。GE社とのアライアンスは世界を視野に入れたパートナーシップの核となるものであり、今後実現すべき、さまざまな協業の可能性を有している。地球環境問題の解決は原子力が担っているとの自負を持ち、原子力事業に携わる日立グループ各社が一丸となって原子力の未来を切り開いていきたい。

参考文献

- 1) 原子力新会社，日立GEニュークリア・エナジー設立 戦略的提携で世界のエネルギー課題に応える，日立評論，90，1，13（2008.1）
- 2) 羽生：原子力事業のグローバル化への取り組み，日立評論，90，2，153～155（2008.2）

執筆者紹介



吉村 真人

1982年日立製作所入社，日立GEニュークリア・エナジー株式会社 原子力国際本部 原子力海外技術部 所属
現在，海外原子力プロジェクトの取りまとめに従事



有馬 博

1981年日立製作所入社，日立GEニュークリア・エナジー株式会社 原子力技術本部 所属
現在，原子力発電プラントの保全事業の取りまとめに従事
日本原子力学会会員



木下 詳一郎

1981年日立製作所入社，日立GEニュークリア・エナジー株式会社 原子力技術本部 原子力技術部 所属
現在，原子力発電プラントのプロジェクト取りまとめに従事



多田 伸雄

1982年日立製作所入社，日立GEニュークリア・エナジー株式会社 事業企画本部 原子力事業企画部 所属
現在，人材育成・研究開発の取りまとめに従事
日本原子力学会会員