

# 21世紀も電力供給の主役 原子力発電

Nuclear Power—A Leading Power Source in the 21st Century

松村 誠  
M. Matsumura

わが国の原子力発電は、電力供給の約30%を占める基盤エネルギー源に成長し、安全性、稼働率ともに世界のトップレベルの技術を誇っている。当社は、この技術の一翼を担うとともに、21世紀においても原子力を電力供給の主役と位置づけ、改良型沸騰水型原子炉（ABWR：Advanced Boiling Water Reactor）を開発し、初号機を東京電力柏崎刈羽原子力発電所に建設した。建設にあたっては、当社は国際ジョイントベンチャーの代表者としてとりまとめを行った。今後も電力の安定供給に向け原子力発電の技術開発に注力していく。

Nuclear power has become a basic source of energy in Japan, with the share of nuclear power generation recently reaching about 30% of the country's total electric power supply. We have confidence in the safe operation and high availability factor of Japan's nuclear power plants, which we believe to be the top level in the world.

The advanced boiling water reactor (ABWR) has been adopted for Unit No.6 of The Tokyo Electric Power Co., Inc.'s Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station for the first time in the world. Toshiba has been designated the representative company for the ABWR joint venture among the three manufacturers of Unit No.6.

As one of the manufacturers of nuclear power plants, Toshiba is concentrating on the advancement of nuclear energy in view of its expected role as a leading power source in the 21st century.

## 1 まえがき

現在、電力供給の約30%を占める原子力発電は、2010年には40%台と、その基盤エネルギー源としての重要性がますます高まる方向にある。当社は、太陽光発電、風力発電などの地域分散型の自然エネルギー利用技術の開発に努める一方、原子力発電を21世紀においても電力供給のベースロードを担う主役と位置づけ、技術の開発に取り組んでいる。

原子力発電にかかわる技術開発としては、安全性、信頼性と併せて経済性にも優れたABWRを開発し、昨年その初号機を完成させた。現在、さらに安全性、信頼性を向上させた次世代原子炉の開発を中心に、核燃料の有効利用を旨とした高速増殖炉、無限の燃料資源の利用を可能にする核融合炉などにかかわる新技術の開発を進めている。

## 2 ABWRの開発とその発展に向けて

1978年に開発に着手したABWRの初号機は、東京電力（株）柏崎刈羽6号機（K-6）として91年9月に着工し、96年11月に完成した。このABWRの建設にあたって、当社は国際ジョイントベンチャーの代表者としてプラント建設の取りまとめを行った。安全性、信頼性、運転性の向上に併せて経済性の向上を図ったABWRの特長は、原子炉外部配管を不要にした原子炉内蔵型再循環ポンプ、電動機駆動と水圧駆動を組み合わせた改良型制御棒駆動機構、鉄筋コンクリ

ート製原子炉格納容器などの採用で、電気出力も135.6万kWと従来型BWRより20%以上の増加を図っている。また、原子炉内蔵型再循環ポンプの採用に伴い原子炉圧力容器を低配置とし、建屋を従来型BWRに比べ約10m低くした低重心化を図り、耐震性に優れた原子炉建屋を実現した。

これらの新技術の採用にあたっては、設計どおり機能することを一つひとつ確認している。例えば、原子炉内蔵型再循環ポンプの場合は冷却材の流れを実験や独自に開発した

表1. ABWRの基本仕様  
Main specifications of ABWR

項目	ABWR	従来型 BWR (BWR-5)
電気出力	135.6万 kW	110万 kW
原子炉 圧力容器	内径	7.1 m
	高さ	21.0 m
原子炉再循環方式 (ポンプ台数)	原子炉内蔵型再循環ポンプ (インターナルポンプ) <sup>(10)</sup>	外部再循環ポンプ <sup>(2)</sup> ジェットポンプ <sup>(20)</sup>
制御棒 駆動方式	通常	電動駆動式
	スクラム	水圧駆動式
非常用炉心冷却系	高圧炉心注水系、低圧注水系、原子炉隔離時冷却系、自動減圧系による3区分方式	高圧炉心スプレイ系、低圧炉心スプレイ系、低圧注水系、自動減圧系による3区分方式
原子炉格納容器形式	鉄筋コンクリート製ライナ内張	鋼製自立式
タービン形式	TC6F-52 インチ (2段再熱)	TC6F-41 インチ (非再熱)
計測制御技術	総合デジタル	デジタル(常用系)
	新型中央制御盤 (A-PODIA <sub>TM</sub> )	中央制御盤 (PODIA <sub>TM</sub> )



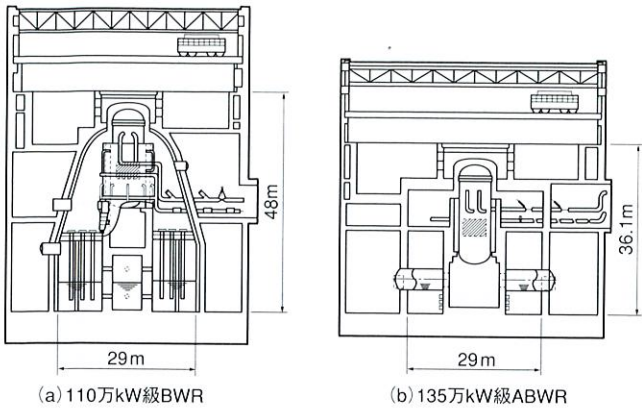


図1. 原子炉建屋の比較 (ABWR と従来の110万kW級BWR)  
 ABWRでは原子炉内蔵型再循環ポンプを採用し、建屋の低重心化を図り、コンパクトで耐震性の優れた原子炉建屋を実現した。  
 Cross sections of reactor buildings for 1,100 MW-class BWR and ABWR

三次元流動シミュレーション技術で確認している。

ABWRの基本仕様を表1に、原子炉建屋の比較を図1に示す。

ABWRでは、運転操作の自動化などによって、従来、2日から3日を要していたプラント冷温停止状態からの起動を約1日で可能にするなど、起動時間の大幅な短縮や負荷追従性の向上を実現した。中央制御盤には、すべての監視・操作を主盤に集中させ運転監視性を向上させるとともに重要情報を大型表示盤に集中したA-PODIA™ (Advanced Plant Operation by Displayed Information and Automation) を開発した。図2にその外観を示す。

21世紀に運転を開始する今後のABWRの計画にあたっては、現在、その量産化に先立ち、さらなる保守性向上などの技術開発にも取り組んでいる。その一つである改良型制御棒駆動機構へのマグネットカップリングの適用は、従来の電動機との間の軸封部をなくし、近年開発された小型・

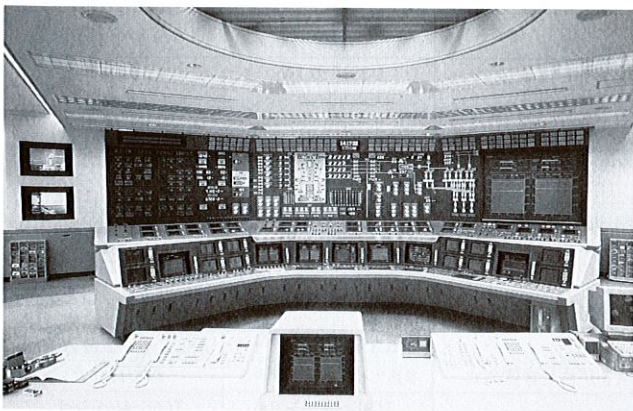


図2. ABWR中央制御室 新型中央制御盤(A-PODIA™)では、大型表示盤の採用により重要情報の共有化が可能となった。

Main control room of ABWR

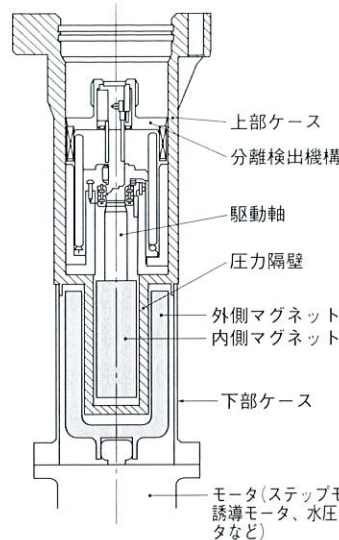


図3. マグネット方式カップリング 磁気力の利用により単純化、摩擦低減もでき、軸封部がなく保守性が向上する。

Magnet coupling for fine-motion control rod drive

軽量高性能磁石を使用してシールレス化を行い保守性の大幅な向上を図るもので、現在、試作機で試験を進めている。図3にその概念構造を示す。

次世代BWRは、21世紀においても軽水炉の時代が長期化すると考えられることから、2010年以降の建設を念頭に、その要素技術の開発に取り組んでいる。その開発目標は、より使いやすい、いっそうの安全性・信頼性向上を図った、経済性に優れたプラントである。具体的には、単機電気出力を150万~170万kWに拡大し、燃料取替体数の削減を旨とした大型燃料、炉内構造物の簡素化を図ったシュラウドレス炉心、重力や自然循環力により安全系の簡素化を図った静的格納容器冷却システムなど、原子炉周りにかかわる主要な要素技術開発のほか、計装関連では、光ケーブルを利用した放射線計測システム、駆動装置を省略した静止型中性子計装システム(ガンマサーモメータ)などの開発、実用化に取り組んでいる。図4に大型燃料、図5にシュラウドレス炉内構造物の概念を示す。

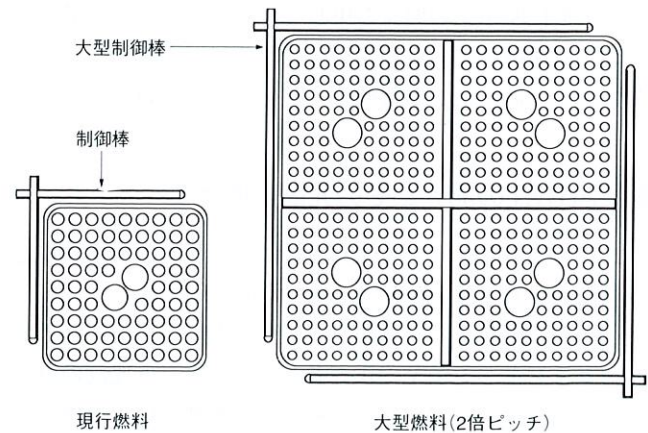


図4. 次世代炉の大型燃料炉心 大型化し数量を削減した燃料と制御棒で定期検査期間を短縮化し、燃料経済性も向上できる。

Cross-sectional view of large fuel bundle



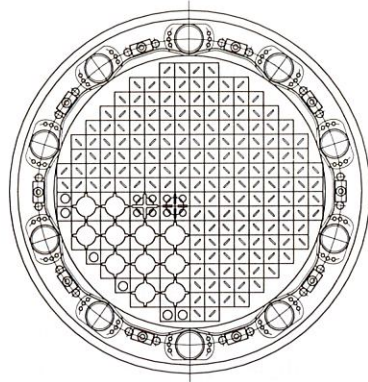
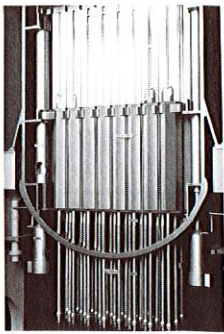


図5. 次世代炉の炉内構造物 取外し可能な炉水導入管を設けたシェラウドレス炉心。

Next-generation reactor internals with shroud eliminated

### 3 さらなる資源の有効利用を旨として (高速増殖炉、熱核融合炉の開発)

他の化石燃料と比較して多くのエネルギーを取り出せるウラン燃料もいずれ資源の枯渇という問題に直面することになる。ウランの利用効率を格段に高め、長期にわたって安定したエネルギーの供給を確保するための技術として、当社は高速増殖炉に関連した技術開発にも取り組んでいる。このための技術として、21世紀初頭の実現を旨として、新しい駆動方式のポンプや新しい再処理技術の研究開発を進めている。

冷却系の機器と一体化し外部冷却を不要とした電磁ポンプは、回転部をなくすことで信頼性と安全性を大幅に向上させており、これを、蒸気発生器や中間熱交換器と一体化させることで、冷却系の大幅な経済性向上が可能になる。現在、中容量までのポンプを試作し、ナトリウム中での安

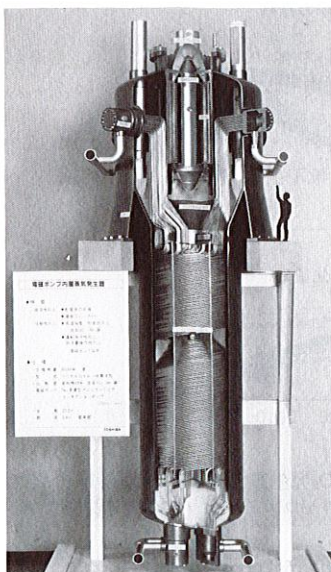


図6. 電磁ポンプ内蔵蒸気発生器 無冷却型の電磁ポンプをヘリカル蒸気発生器に合体させることにより、二次系配管長を短縮できるとともに蒸気発生器を原子炉に近接して配置することによる建物のコンパクト化が可能となり経済性向上に大きく寄与する。

Solenoid pump installed inside steam generator

定した運転実績が得られている(図6)。

新しい再処理技術としては、電気分解によりウラン、プルトニウムなどの燃料を回収する乾式再処理技術を開発中である。現在、1kg程度のウランを電極に析出させることに成功している。

核融合は、その燃料となる重水素が海水から無尽蔵に得られることから、これが実用化された場合にはエネルギーの半永久的な供給が可能となる。また、制御が不可能となる反応促進の機構が存在しないなど、原理上、高い固有の安全性をもち、安全で環境に優しいエネルギー源といえることができる。近年の研究開発の成果により、現在、自己点火条件の達成と長時間燃焼の実現を旨とした実験炉の具体的な設計段階になっている。最近では、96年4月に岐阜県土岐市の文部省核融合科学研究所で大型ヘリカル装置に用いる外径約12mの世界最大の強制冷却型超電導コイル(図7)を完成させた。

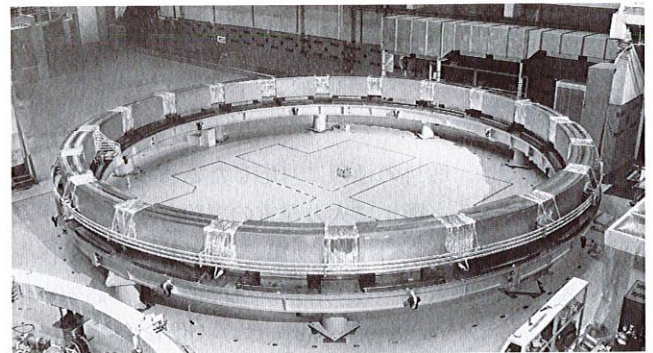


図7. 強制冷却型超電導コイル 大型ヘリカル装置に用いられる世界最大の強制冷却型超電導コイルの外観。

Forced-flow-cooled superconducting magnet for large helical device

### 4 あとがき

当社は、原子力事業部が発足して30年目にあたる96年、世界初の改良型沸騰水型原子炉ABWRを完成させた。21世紀の基盤エネルギー源として、今後も、より安全で信頼性の高い原子力発電設備の建設および開発に注力する所存である。関係各位のよりいっそうのご指導、ごべんたつをお願いする次第である。



松村 誠 Makoto Matsumura, D.Eng.

エネルギー事業本部原子力技師長、工博。  
日本機械学会、日本原子力学会会員。  
Energy Systems Group