

21世紀における原子力発電設備の開発

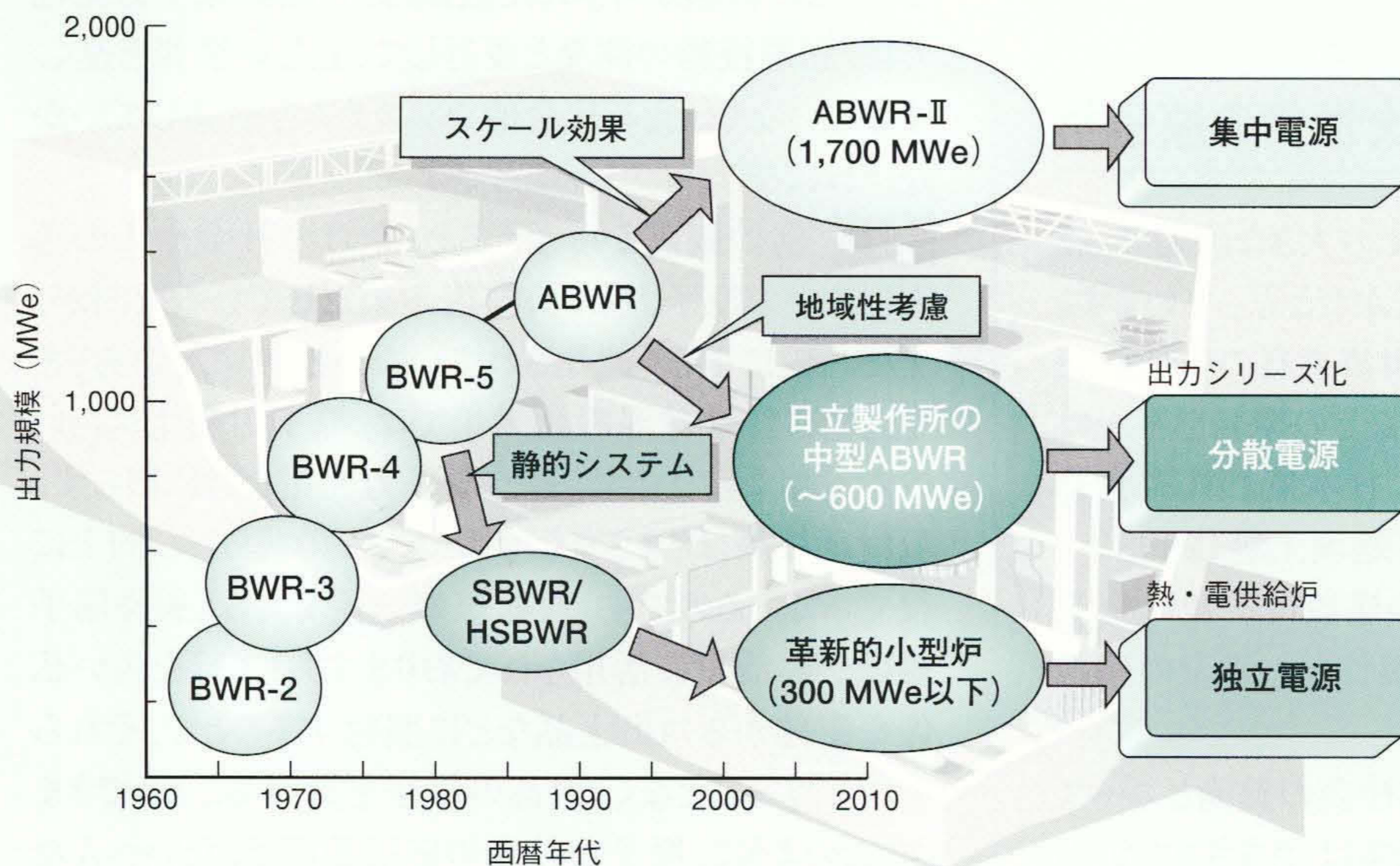
Development Study of Nuclear Power Plants for the 21st Century

守屋公三明 *Kumiaki Moriya*

青山肇男 *Motoo Aoyama*

大塚雅哉 *Masaya Ôtsuka*

松浦正義 *Masayoshi Matsuura*



注：略語説明

BWR (Boiling Water Reactor)

ABWR (Advanced BWR)

SBWR (Simplified BWR)

HSBWR (Hitachi Simplified BWR)

日立製作所が考える将来の原子力発電設備の方向性

日立製作所は、21世紀の原子力発電設備への多様なニーズにこたえるために、出力規模に応じたさまざまな炉型の開発を進めている。

日立製作所は、1955年ごろの研究炉の開発で培った原子力技術を基に、1970年に運転開始したわが国初の軽水炉である敦賀原子力発電所一号機(357 MWe BWR)の建設に参加した。その後、信頼性の確保と出力の大規模化の努力を続け、1996年にはBWR各電力会社、GE社、および株式会社東芝と共同で、1,356 MWeのABWR(改良型BWR)を完成させた。

一方、21世紀での原子力発電設備の広範な利用のために、日立製作所は、現在、将来の多様なニーズや地域性を考慮した原子力発電設備の開発を進めている。具体的には、(1) 経済性を追求した大規模集中電源としてのABWR-II(電力会社との共同研究で開発)、(2) 大規模送電網が整備されていない地域に出力規模を適正化した分散型電源設備としてのHABWR(中型ABWR)、および(3) 送電網を前提にしない独立電源設備としてのSSBWR(革新的小型炉)に分けて開発を考えている。

1 はじめに

日立製作所は、米国から導入した軽水炉による発電技術を基に、独自の創意くふうを重ねながら、信頼性、安全性、経済性の向上に努めてきた。ABWR(改良型沸騰水炉)はわが国の技術経験を集大成して開発された炉型であり、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所の6、7号機として現在良好な運転を続けており、当初設計の期待どおりの実績が得られている。

わが国では、当面、ABWRの時代が継続されると考えられるが、今後の社会の大きな変革によっては、原子力発電の重要性はさらに増大するものとする。日立製作所は、この6、7号機の実績を基にABWRのいっそうの改善を図り、定着化に向けた努力を続けるとともに、経済

性を追求した大型炉として、電力会社との共同で1,700 MWeのABWR-IIの開発を進めている。

一方、地球温暖化対策などの地球規模でのエネルギー問題を考えると、多くの地域で原子力発電の利用が必要であり、地域性を考えた多様なニーズにこたえる原子力発電設備の開発も重要であるとする。

ここでは、日立製作所が考える21世紀における原子力発電設備の開発の方向性と開発の状況について述べる。

2 原子力発電設備の開発の方向性

原子力による発電が始まって以来、安全性を大前提にした経済性の追求が開発の大命題であった。燃料費に比べて設備費の割合が大きな原子力発電設備では、スケール効果が経済性向上の最も有効な手段であり、実績を重

ねながら単機容量を増大してきた。同時に、高い稼働率を実現するための信頼性の確保にも努力を払ってきた。

経済性の追求は今後も変わらぬ命題であり、発電網が充実しているわが国では、スケール効果を期待したいっそう高性能の大型集中電源を開発することが基調と考える。この目的のために、日立製作所は、現在、電力会社と共同でABWR-IIの開発を進めている。

一方、エネルギーの需要が世界的にますます増えることを考えると、原子力発電設備を広く普及させていくことが重要である。この場合、地域やユーザーによっては、充実した送電網が期待できない場合や、送電系統がないことを想定する必要がある。日立製作所は、将来のこのようなニーズを想定して、送電容量や電力需要の小さな地域用の分散型電源としてHABWR(中型ABWR)と、送電網がない地域用の独立型電源としてSSBWR(革新的小型炉)の開発を進めている。

HABWRは、電源の分散設置に最適な出力規模として600 MWe級を選定し、最新のABWRの特質を残しつつ、スケール効果の損失を回復するために出力規模に合わせた合理化を図ったものである。これまでのわが国の建設・運転の実績を生かすことにより、新たに特別の開発を必要としない機器・システムの採用を基本にしていることから、これから原子力発電を導入しようとする国や地域に適している炉型であると考えられる。

一方、SSBWRは、燃料輸送や人のアクセスの困難さから、開発の遅れや生活の不便さがある地域にも質の高いエネルギーを供給することを目的とした炉型であり、出力規模は300 MWe以下を考えている。このような小出

力では、ABWRを単純に小型化することは適切ではなく、専門の運転員がいなくても安全かつ安定した運転が可能な炉型とする必要がある。

各炉型の開発状況について以下に述べる。

3 次世代原子力発電設備の概念の開発

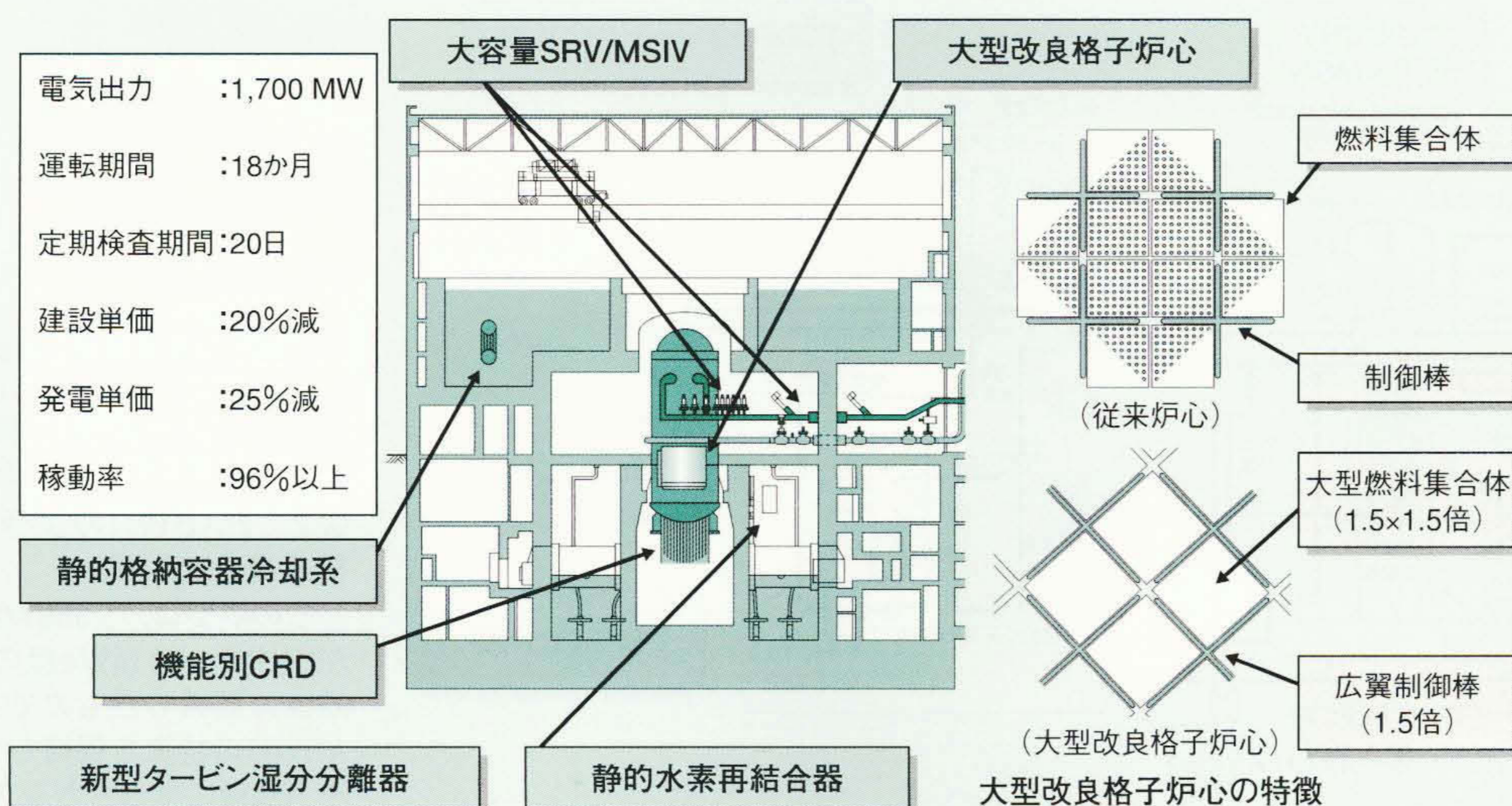
3.1 大型集中電源設備(ABWR-II)の開発¹⁾

ABWR-IIの開発の第一の目標は、ABWRを上回る高経済型のプラントであり、キロワット当たりの建設費の低減には大出力化が最も効果的である。この目的のために、設計余裕を損なうことなく大出力化が実現でき、安全性と信頼性を向上させたプラント概念を開発している(図1参照)。また、発電費の低減には、建設費低減とともに燃料サイクル費や保守費用の抑制も重要であり、定期検査期間20日と運転サイクル18か月の実現による96%以上の稼働率を目標にしている。

日立製作所は、経済性と運転性、および保守性をさらに向上させることを目指した技術の検討を行っており、ABWR-IIのいっそうの高度化に貢献していきたいと考えている。日立製作所が進めている高度化の検討例について以下に述べる。

3.1.1 炉心・燃料のいっそうの高度化

ABWR-IIで採用される大型改良格子炉心には、燃料格子幅を従来の1.5倍とし、燃料集合体の二つのコーナに制御棒を配置した構成により、炉停止余裕の増大とともに、燃料集合体間の水ギャップ領域を燃料棒の装荷が可能な燃料集合体内領域に取り込むことができるという特徴がある。これらを活用して燃料棒本数を増大すること



注：略語説明

CRD(制御棒駆動機構)
SRV(逃がし安全弁)
MSIV(主蒸気隔離弁)

図1 ABWR-IIのプラントの概要と特徴

日立製作所は、次期大型集中電源設備として、経済性、運転性および保守性に優れた炉概念を開発している。

実績のある「52インチ(約132 cm)長翼タービン」を用いた1車室設計にするとともに、復水器を1胴化し、給水ヒータを1系列化した。このシステム構成は、タービン効率と給水温度の面で、熱効率的にはABWRよりも若干低下するものの、大幅な設備合理化が期待できる。さらに、稼働率の点からのトレードオフ評価に基づいて、給・復水ポンプなど常用機器の予備機を削減した。

(2) システム簡素化

安全系についても、従来並みの性能を維持しつつ簡素化を図った。ECCSの機器では、その使用条件の厳しさから、環境試験などの開発が必要である。したがって、ECCSなどの特殊機器については各機器の単機容量をABWR(1,356 MWe級)と同等とすることで機器設計のリピート効果をねらい、系統構成の適性化によって従来並みの安全性を確保しつつ、大幅な設備簡素化(機器員数を50%減)を可能にした。

(3) 大型炉で開発した技術の活用

大容量SRVや低圧損MSIVなど大型炉開発で確立した新技術を取り入れることにより、効率的な合理化設計と性能向上を図った。

(4) 配置設計の合理化

タービン設備の大幅合理化と原子炉周りの設備簡素化により、建屋容積比でABWR(1,356 MWe級)の50%強の低減を達成できる見通しを得た(図3参照)。

(5) 顧客ニーズに柔軟に対応できる自由度の高い設計

上述したプラント構成概念は標準仕様であり、日立製作所は、この標準仕様をベースにして、使い方の自由度を広げるためのオプション仕様の検討を行っている。主

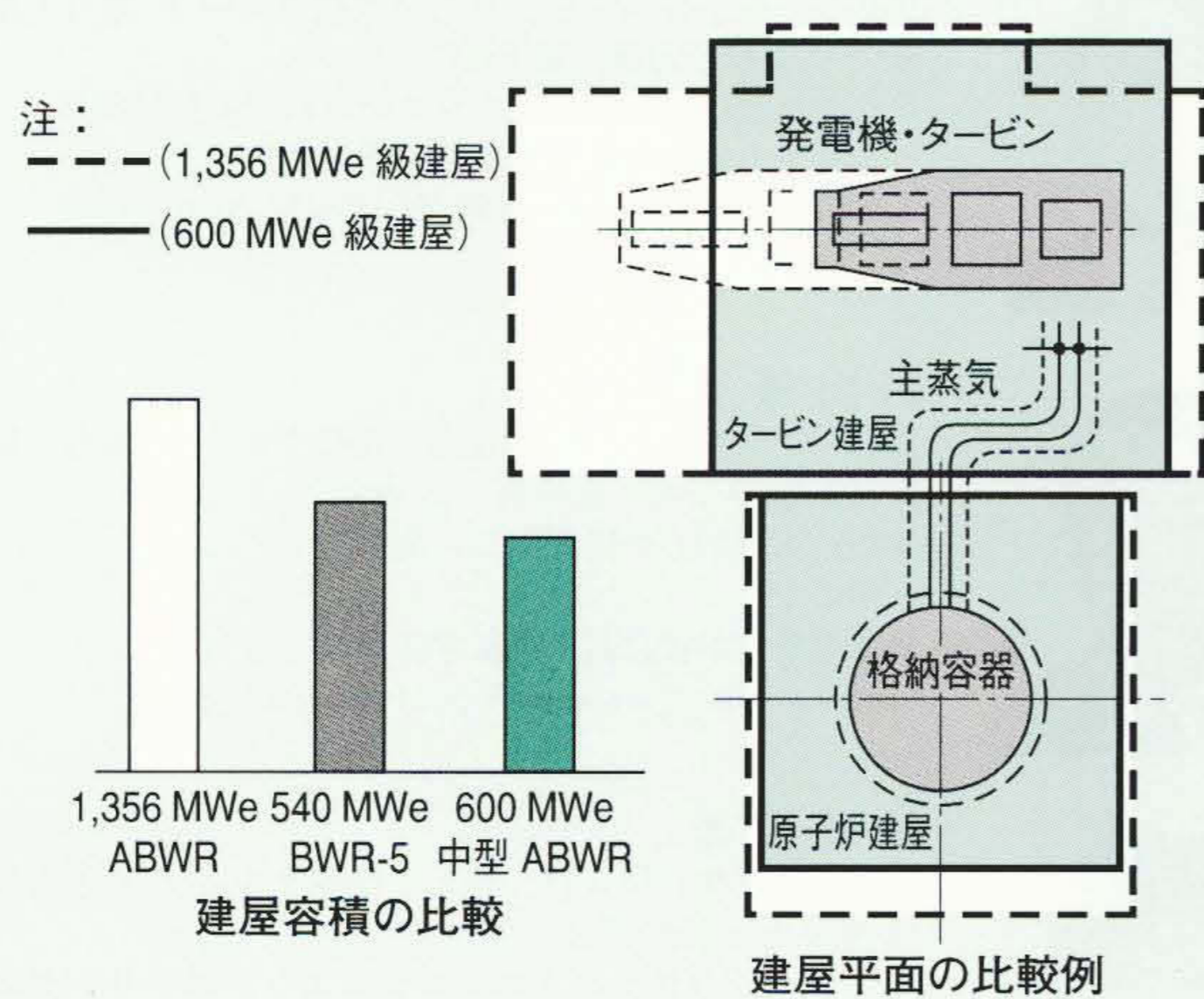


図3 HABWRと現行BWRとの建屋容積比較

現行炉よりも建屋容積を大幅に低減した。

なオプション仕様として、(a) 粗密格子燃料採用による制御棒全引き抜き運転(通常運転中制御棒操作フリー)機能や、(b) 苛酷事故時の安全余裕を拡大した自然放熱型格納容器の適用などの検討を進めている。今後、機器仕様の徹底標準化によるモジュール化の大幅適用、免震技術、SC(Steel Plate Reinforced Concrete)構造など最新の実用化検討技術の取り込みによるいっそうの経済性の追求により、1,356 MWe ABWRと同等の高経済性(同等の建設単価)を達成する。これにより、電力需要、投資規模に応じた最適出力のABWRの導入が容易になる。

3.3 SSBWRの開発

日立製作所は、国内外の独立電源や熱供給への需要にこたえるため、BWR技術の特徴を生かしたSSBWR(革新的小型炉)を開発している(図4参照)。

SSBWRの電気出力は300 MWe以下であり、(1) 運転、メンテナンスの容易性、(2) 受動的安全、(3) 多目的エネルギー供給、(4) コスト低減などを主な目標としている。

米国では、小型炉の開発の目標として、核不拡散性を考えて燃料交換なしで数十年の運転が可能なが求められている。SSBWRでは、この要求を満足するために、冷却材に重水を、燃料集合体に三角稠(ちゅう)密格子をそれぞれ用いることによって中性子スペクトルを低減速化し、超長寿命運転を可能としている。重水を利用することによって単バッチ運転による大きな余剰反応度を低減し、重水に軽水を徐々に加えていくことにより、炉心燃焼度に伴う冷却材ボイド係数の増加を補償している。この結果、20年の超長寿命運転を達成することができる(図5参照)。また、余剰反応度の低減によってCR駆動機構を大幅に削減することができ、炉内構造の簡素化とコストの低減が可能になる。さらに、熱伝達率の高い凝縮

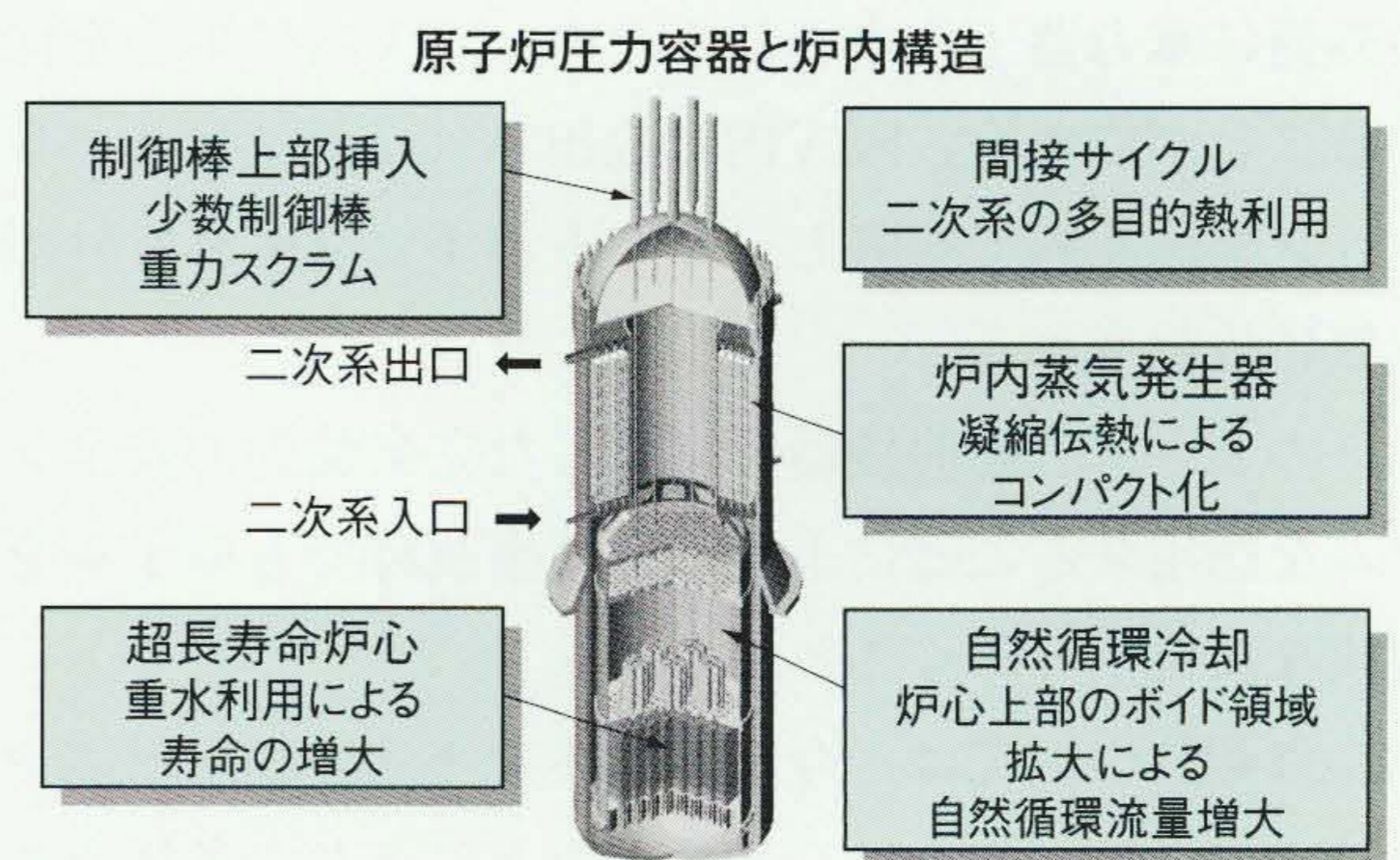


図4 核不拡散性に対応した日立製作所のBWR概念

安全性、運転性および経済性に優れた小型炉の開発を目指している。

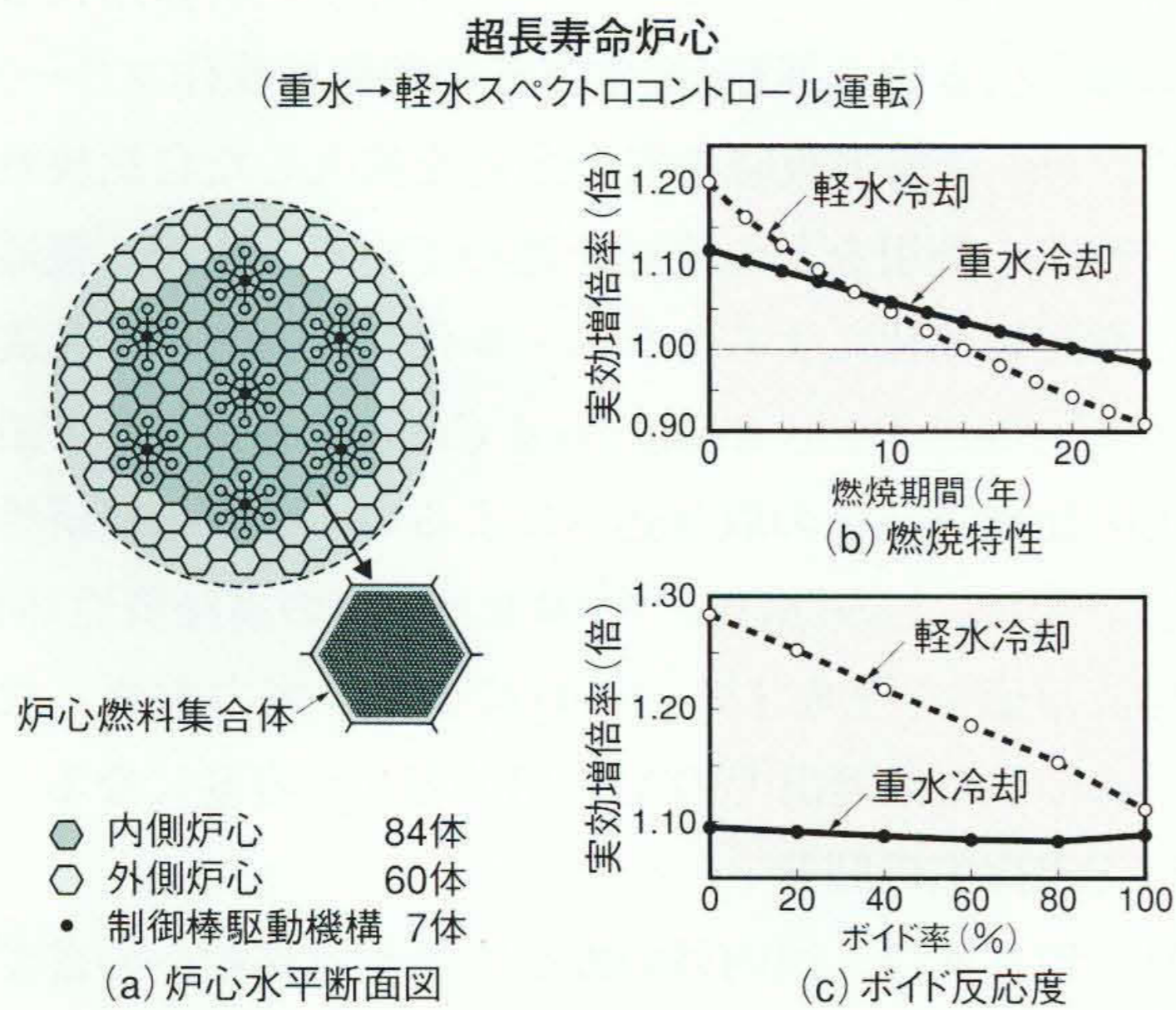


図5 20年間燃料交換を必要としないBWRの炉心概念
重水と軽水の利用により、20年間燃料交換なしの運転が可能である。

伝熱を用いた蒸気発生器を炉心上部の蒸気領域に設けることにより、高温二次系の多目的熱利用を目的とした間接サイクルによるSG(蒸気発生器)一体型のコンパクトなRPV(原子炉圧力容器)を実現することができる。炉心冷却には、動的機器である再循環ポンプを排除した自然循環を利用することによってメンテナンス性を向上するとともに、一次系に給水と蒸気ラインがないことから、大LOCA(冷却剤喪失事故)の可能性を著しく低く抑えることができる。

さらに、受動的安全系を用いることにより、システムの信頼性を向上させることができる。PCV(原子炉格納容器)内のRPV上部にはサプレッションプールを設け、重力落下注水によるRPVの除熱ができる。事故時には、RPVは自動減圧され、重力落下注水系が起動されて炉心を冷却する。万一、炉心溶融が起こった場合でも、RPVの外側に重力落下注水されるため、RPV内に炉心を保持することができる。PCV内に放出された蒸気はサプレッションプール内で凝縮し、ヒートパイプを用いて外部の空気に放熱される。

このように、動的機器を排除した完全受動的安全システムを採用することにより、苛酷事故時でも原子炉を大規模な損傷から防ぐことができる。

小型炉については、今後、エネルギーの利用形態やメンテナンス性、安全性、コストなどに応じた多様なニーズが予想される。直接・間接サイクル、重水・軽水、動的・静的安全系など各種の仕様に対応できる革新的な炉

型概念の検討を進めている。

4 おわりに

ここでは、21世紀における原子力発電設備の開発について述べた。

原子力発電技術が米国から導入されて以来、わが国独自の開発の努力が実り、電力会社、GE社、株式会社東芝との国際共同開発によってABWRを完成することができた。

21世紀の発展にはエネルギーの安定供給が必須であり、地球温暖化などの環境問題を考えると、原子力発電の必要性はますます高まるものとする。原子力発電を広く普及させるためには、地域性や多様なニーズに柔軟に対応していくことが重要である。このため、日立製作所は、今後も目的に対応したさまざまな革新的な炉型の開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 小杉山, 外: ABWR-II (ABWR改良発展炉)の研究開発の現状, 日本機械学会第7回動力・エネルギー技術シンポジウム「動力・エネルギー技術の最前線2000」(2000年10月)

執筆者紹介



守屋公三明

1980年日立製作所入社、電力・電機グループ 原子力事業部 原子力計画部 所属
現在、原子力プラントの開発取りまとめに従事
日本原子力学会会員
E-mail: kumiaki_moriya @ pis. hitachi. co. jp



大塚雅哉

1980年日立製作所入社、電力・電機グループ 電力・電機開発本部 原子力第一部 所属
現在、原子炉の伝熱流動、システム研究開発に従事
日本原子力学会会員、日本機械学会会員
E-mail: masaya_ootsuka @ pis. hitachi. co. jp



青山肇男

1979年日立製作所入社、電力・電機グループ 電力・電機開発本部 原子力・産業第一部 所属
現在、次期炉心の研究開発に従事
工学博士
日本原子力学会会員、電気学会会員
E-mail: motoo_aoyama @ pis. hitachi. co. jp



松浦正義

1987年日立製作所入社、電力・電機グループ 原子力事業部 原子力計画部 所属
現在、原子力プラントのシステムエンジニアリング取りまとめに従事
日本機械学会会員
E-mail: masayoshi_matsuura @ pis. hitachi. co. jp