

HITACHI



GE VEROVA

AE-BX-0410 Rev.0

早稲田大学・東京都市大学共同原子力専攻 主催
第20回 未来エネルギーフォーラム・シンポジウム

カーボンニュートラル社会を実現する ～HI-ABWR & BWRX-300の革新技術～

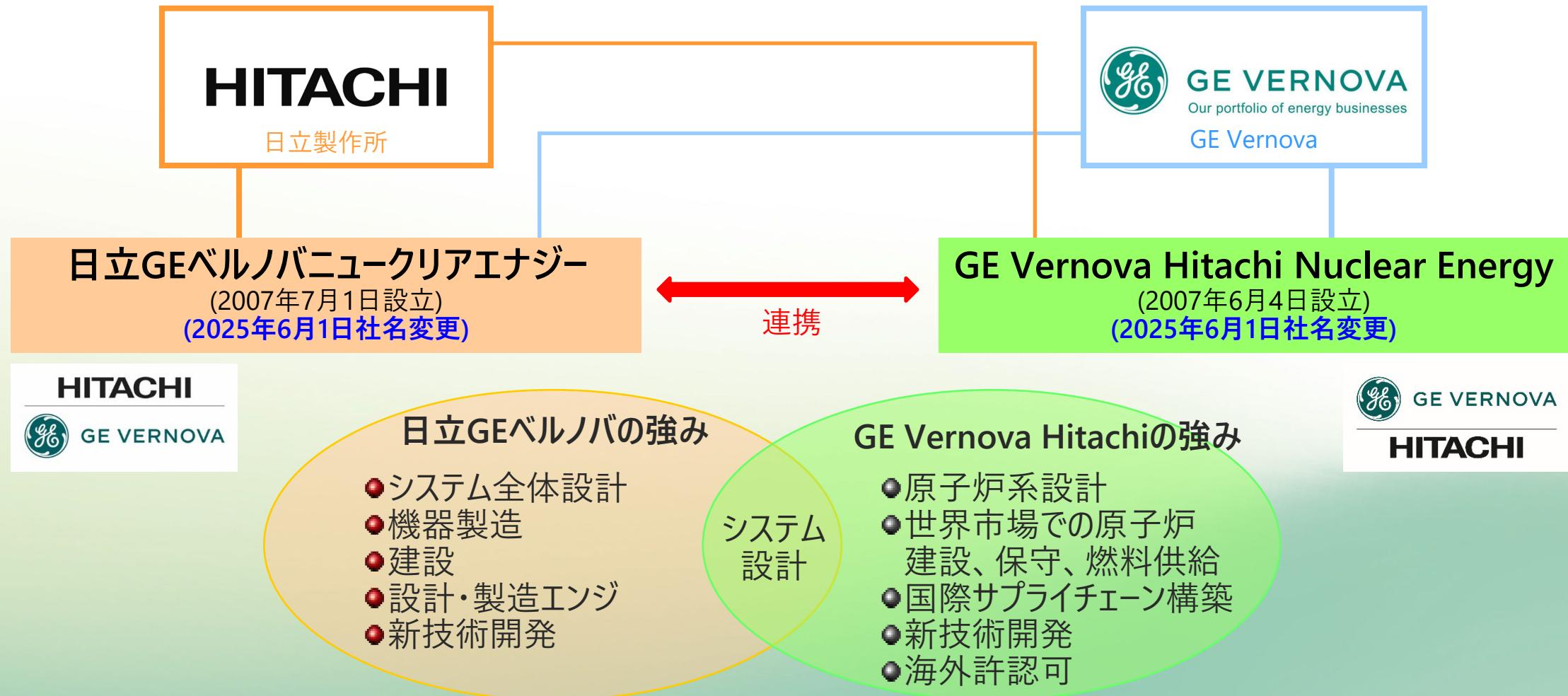
2025年12月13日

日立GEベルノバニュークリアエナジー株式会社
松浦 正義

Contents

1. 日立GEベルノバの開発方針と原子力ビジョン
2. 大型革新軽水炉 HI-ABWR の開発アプローチと特長
3. 小型革新軽水炉 BWRX-300 の特長と海外最新状況
4. まとめ

1-1. 日立とGE Vernovaのグローバルアライアンス



- 日立と GE Vernova は50年以上におよぶ原子力事業での協業をベースとしたアライアンスを締結
- 最新BWR技術／サービスの開発と拡販を共同で推進

1-2. 世界の原子力市場の動向

新設プラント実績

- 過去10年の運開プラントの約60%を中国が占める
- ロシアはリプレース建設が堅調

今後の新設計画

- 計画中プラントの大半を中国・ロシアが占める
- 米国、英国、カナダの新設計画は少数だが、原子力推進活動活発化

廃炉(閉鎖)の増加

- 政府方針の他、経済性を理由とした古いプラントの廃炉が増加

既存プラントの活用

- 各国で既存プラントの活用を強化
- 米国では既存プラント稼働率向上、60年運転/80年運転認可を推進

カーボンニュートラル(CN)

- COP26(2021年)時点で、150以上の国と地域が2050年CNを宣言*
- 再生可能エネルギー大規模導入を計画
- COP28で原子力3倍宣言に合意**

* 主要国である中国やインドは、それぞれ2060年、2070年のCN達成を目指している

** 2050年までに2020年比で世界の原子力発電設備容量を3倍にする宣言、31カ国が合意

新型炉開発

- 米国で先進的原子炉設計の実証プログラム(ARDP)開始
- カナダはSMR開発に向けた国家行動計画を公表

ARDP:先進的原子炉設計の実証プログラム

将来の環境変化に対応する原子力の役割に応じた準備が必要

社会のニーズに貢献できる原子力の開発を推進

第7次エネルギー基本計画で示された方針

福島の復興・再生に向けて最後まで取り組むことが責務。

安全性の確保を大前提に、再稼働の加速に向け官民を挙げて取り組む。

安全性の確保を大前提に、必要な規模を持続的に活用していく。

新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・設置。

バックエンドプロセスの加速化を進める。

日立の取組み

- ・燃料デブリ取出しを含む廃炉技術の開発
- ・汚染水、廃棄物処理技術の開発

- ・女川2号機、島根2号機再稼働
- ・安全対策を実施したBWRの再稼働
- ・新規制基準への技術的支援

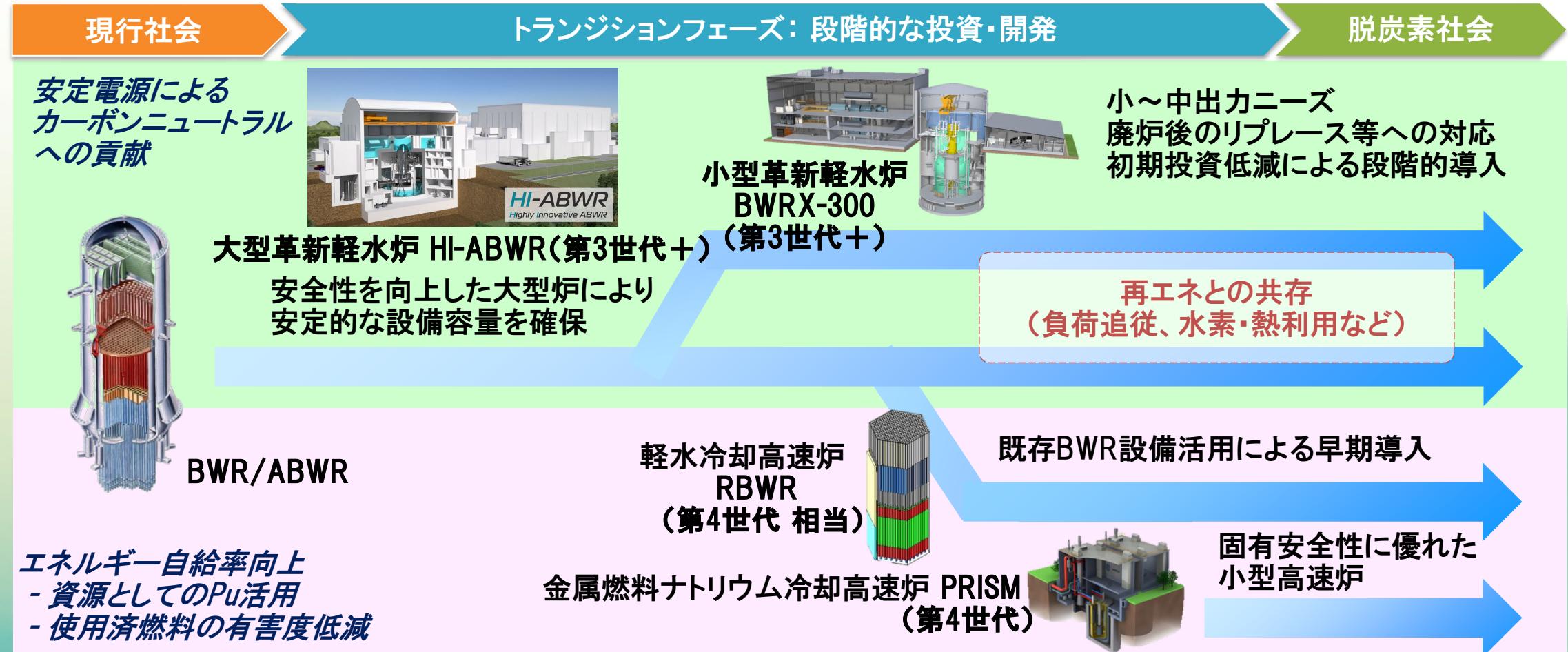
- ・稼働率向上技術の適用
- ・燃料の高経済性化(高燃焼度化)

- ・革新軽水炉HI-ABWR, BWRX-300実用化
- ・高速炉によるプルトニウム生成と燃焼
 - ✓ 軽水炉でのプルトニウム有効利用
 - ✓ 高速炉技術による有害度低減(マイナーアクチニド(MA)の燃焼・核変換)

マイナーアクチニド(MA): 使用済み燃料の再処理後に回収される核種で、放射能が長期(数百年～数万年)に渡る核種

1-4. 日立GEベルノバの革新炉開発戦略

社会ニーズに対応し、ステップバイステップで多様なソリューションを提供



Contents

1. 日立GEベルノバの開発方針と原子力ビジョン
2. 大型革新軽水炉 HI-ABWR の開発アプローチと特長
3. 小型革新軽水炉 BWRX-300 の特長と海外最新状況
4. まとめ

2-1. 大型革新軽水炉HI-ABWR

福島第一原子力発電所事故の教訓を設計段階から反映し、英國・欧州規制の要求を満たした
UK ABWRにあらたな安全メカニズムを組み込んだ大型革新軽水炉

革新技術による世界最高水準の安全性

Walk Away Safe

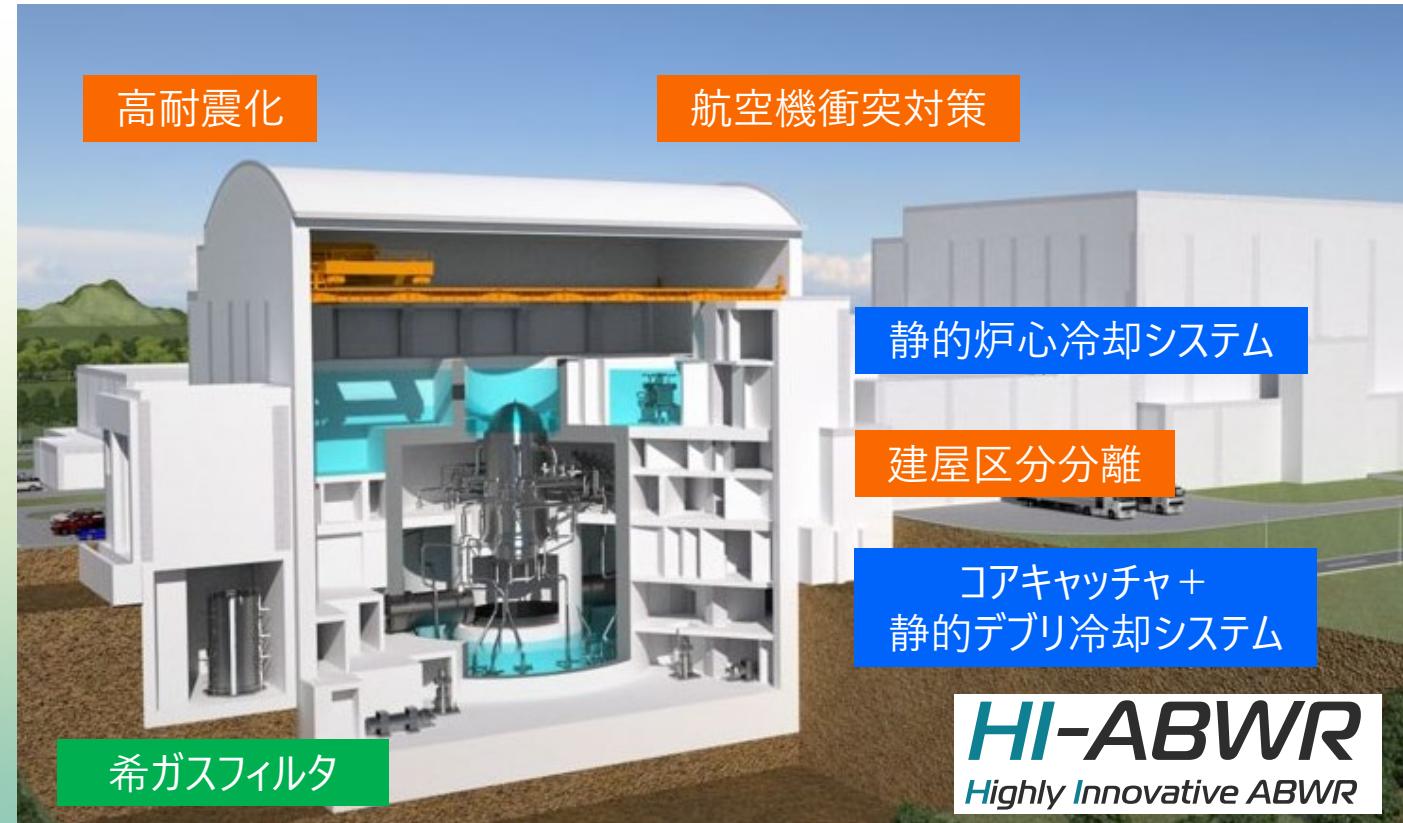
運転員の操作や外部電源が不要な静的安全
システム

放射性物質放出の抑制

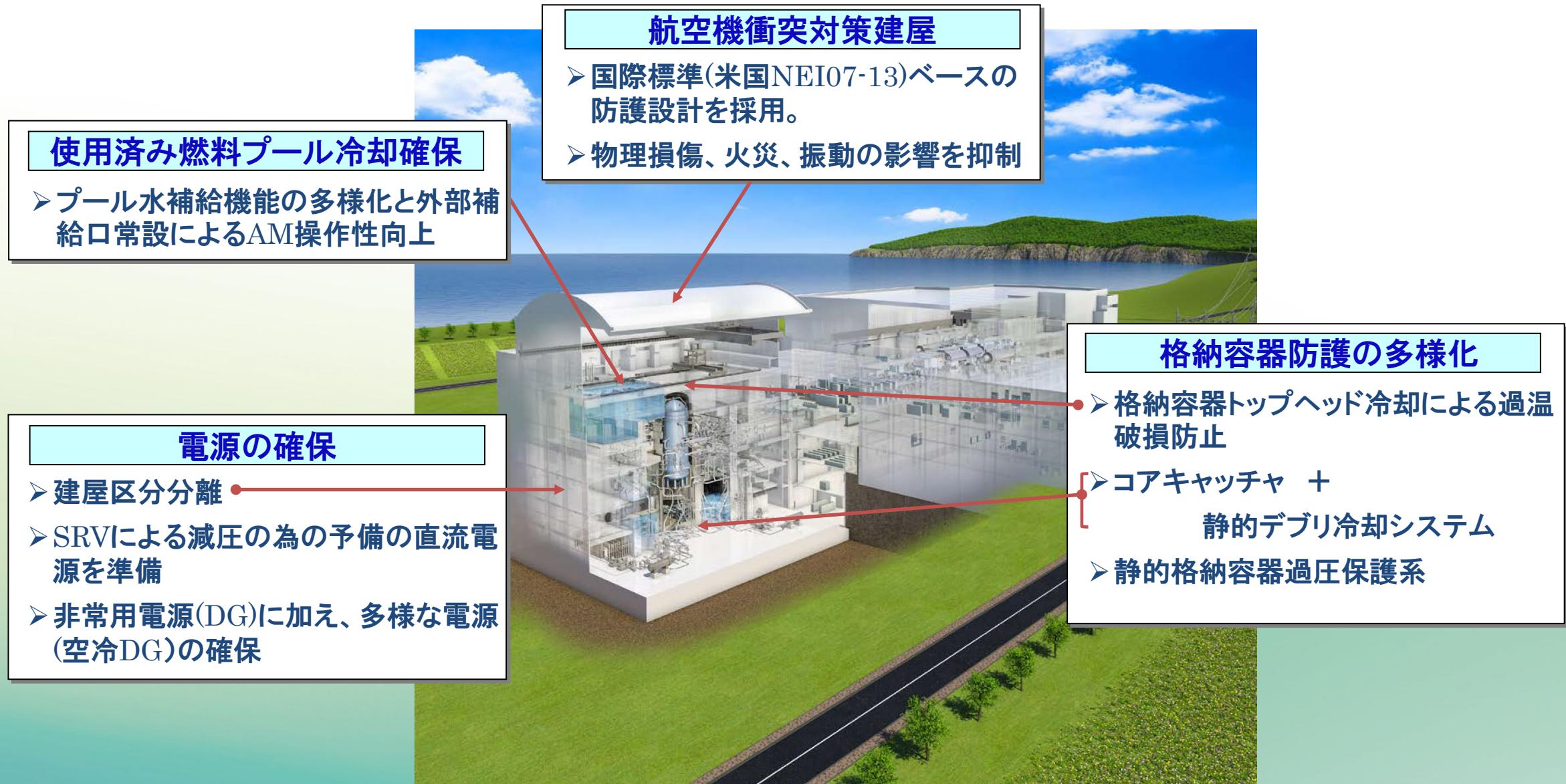
新たな放射性物質除去フィルタにより、万一の
重大事故時における放射性物質放出を大幅低減
ベント時の敷地境界における線量を1/100に抑える

テロ・ハザードへの耐性強化

地震／津波などの自然災害、航空機衝突も
含むテロに対し防護する建屋構造



2-2. 福島第一原子力発電所事故の教訓とUK ABWRにおける対策



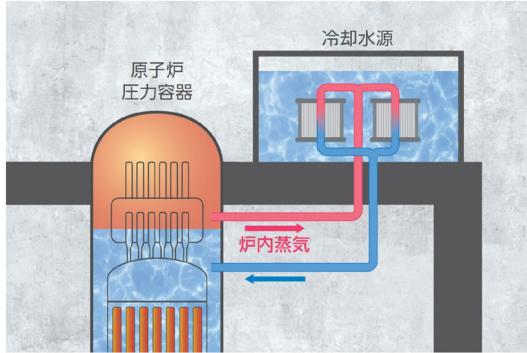
2-3. HI-ABWRの特徴的な技術

太陽:あらたな安全メカニズム

HITACHI
GE VERNONA

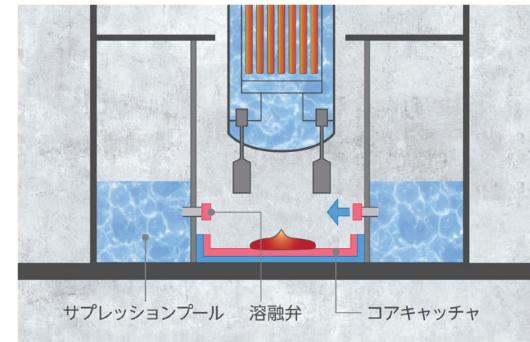
静的炉心冷却システム

事故時に運転員操作無しで24時間炉心冷却が可能（従来はベントや炉心スプレー操作が必要）



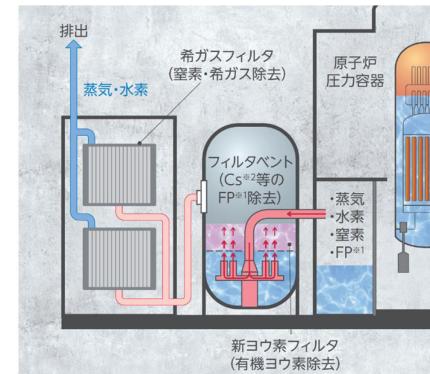
コアキャッチャ + 静的デブリ冷却システム

ドライウェル床全面に敷設した耐熱材と溶融弁により事故時に運転員操作無しでデブリ冷却が可能（従来は一部への敷設、注水操作が必要）



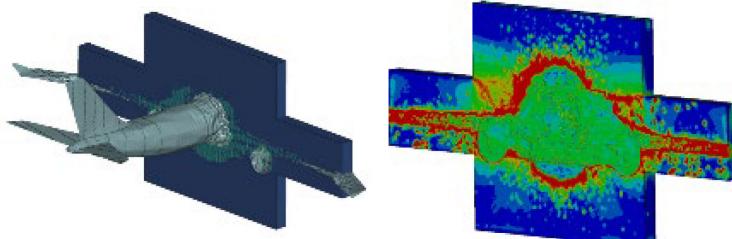
希ガスフィルタ

水素を排出しつつ放射性物質放出を大幅低減し建屋の保護と住民避難の実質不要化を両立



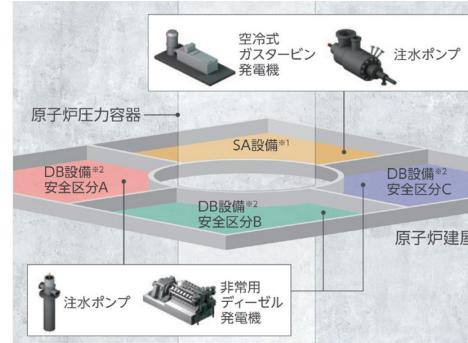
航空機衝突対策

国際標準（米国ガイドライン）に基づく防護設計を採用し物理損傷、火災、振動の影響を抑制



建屋区分分離

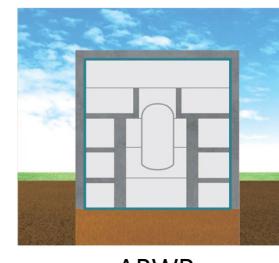
事故発生時に炉心の著しい損傷を防止する設備の配置を4つに区分、内部の火災等の影響を最小限に抑制



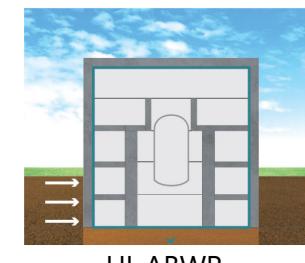
SA設備：シビアアクシデント対策設備 DB設備：設計基準事故対策設備

高耐震化

- 建屋の剛性化
- 機器配置の見直し、ABWRに比べた深い埋込み等で建屋を低重心化
- 埋め戻し土、岩盤による建屋側方拘束活用



ABWR

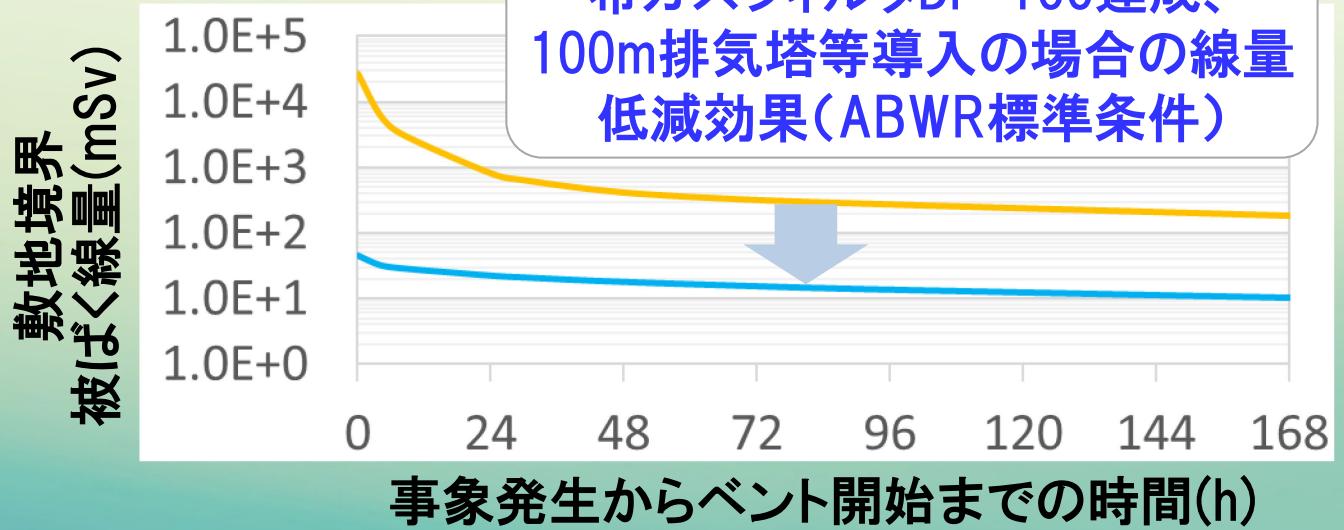


HI-ABWR

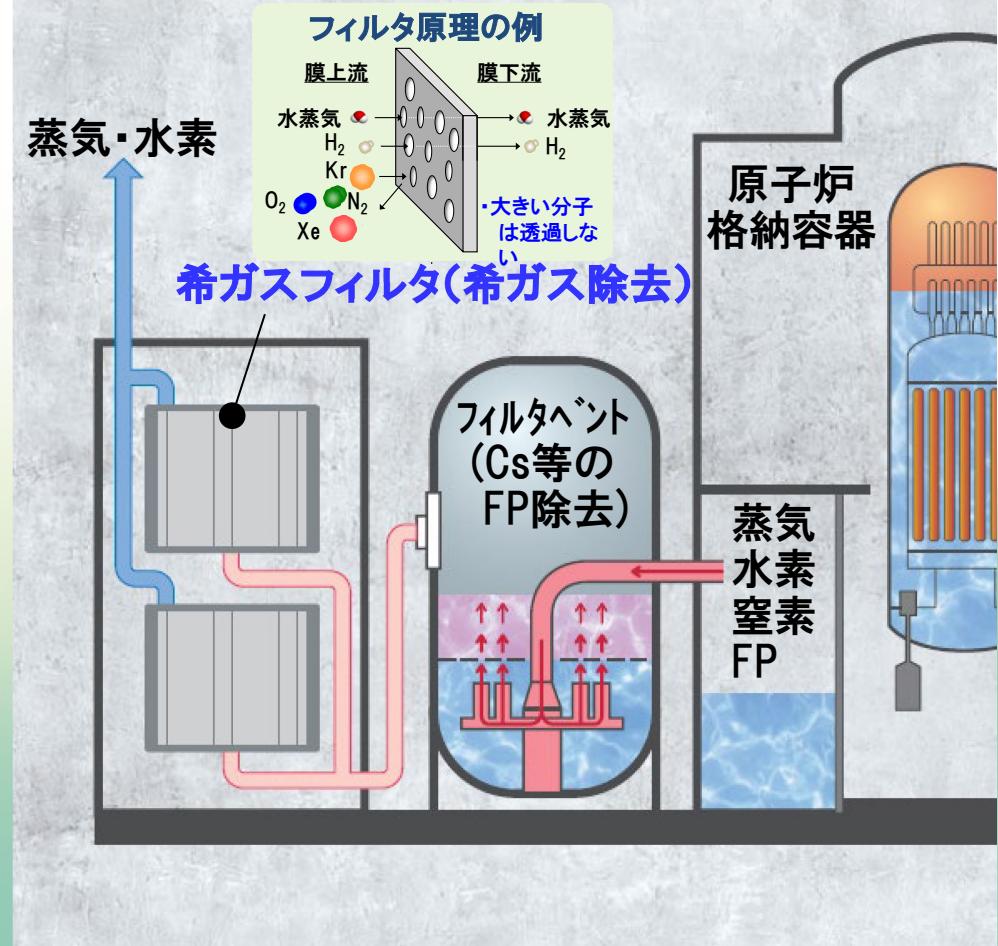
2-4. 放射性物質閉じ込め技術の開発（希ガスフィルタ）

過酷事故時の住民避難や作業員退避の回避を目指す
また、早期ベントを可能にし、水素燃焼リスクを抑制する

- ✓ 従来のフィルタベントに加えて、希ガスフィルター等を導入し、放射性物質の放出を抑制
- ✓ 新型炉(HI-ABWR、BWRX-300)の他、既設炉にも適用可能



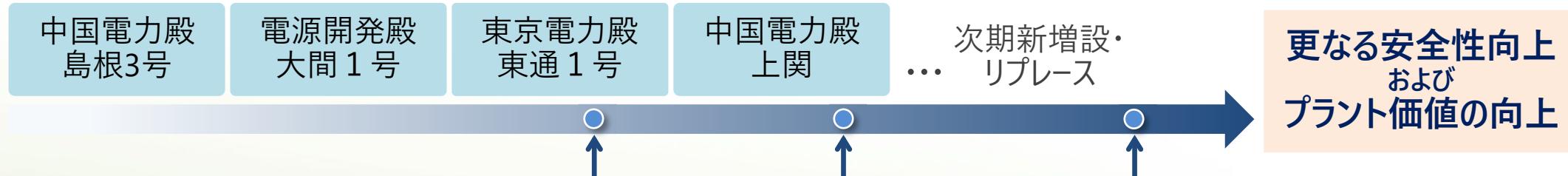
放射性物質閉じ込めシステム構成の例



2-5. 既設～革新軽水炉への技術導入の考え方

新規制基準の反映に加えて新たな安全技術を継続開発中、革新軽水炉開発へつなげる

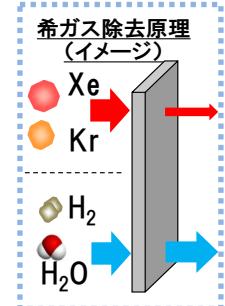
建設中および準備中のABWR新設プラント



新たな安全技術を組み込んだ革新技術を開発・適宜導入

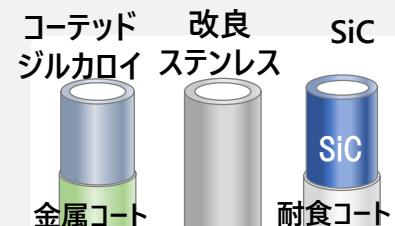
主な革新技術の概要

- 事故時放射性物質の閉じ込め機能強化
 - ・**希ガスフィルタ**：過酷事故時の核分裂生成物の放出抑制
→過酷事故時の住民避難不要化に貢献
- ATF（事故耐性燃料）の導入で、安全性・経済性を向上
- 受動的安全設備による過酷事故時の信頼性向上
 - ・コアキャッチャ：溶融炉心（デブリ）を収集・保持し、安定に冷却
- 航空機衝突対策としての原子炉建屋強化



希ガスフィルタ
ベントガスから放射性
希ガスを除去
透過率の差を利用して
希ガスと蒸気・水素を分離

過酷事故時の
住民避難不要化に貢献



ATF（事故耐性燃料）
燃料被覆管の
高温酸化抑制
過酷事故時の
水素発生抑制

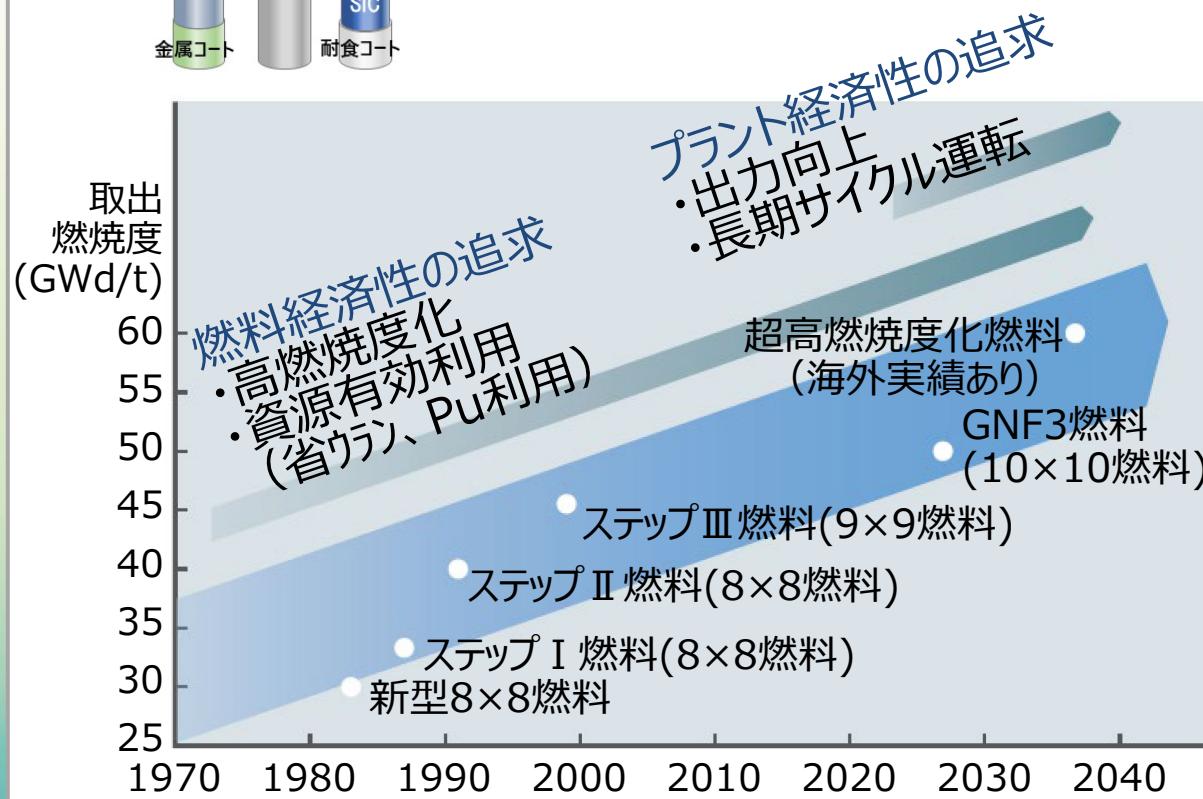
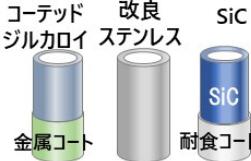
複数の被覆管を開発中

ATF: Accident Tolerant Fuel

2-6. 持続的・社会への貢献

高燃焼度燃料による使用済燃料/運転コストの削減

- 使用済燃料削減 + 燃料経済性・プラント経済性向上
- 将来的には、事故耐性燃料（ATF）により事故進展を抑制
(GNFと共同開発中)

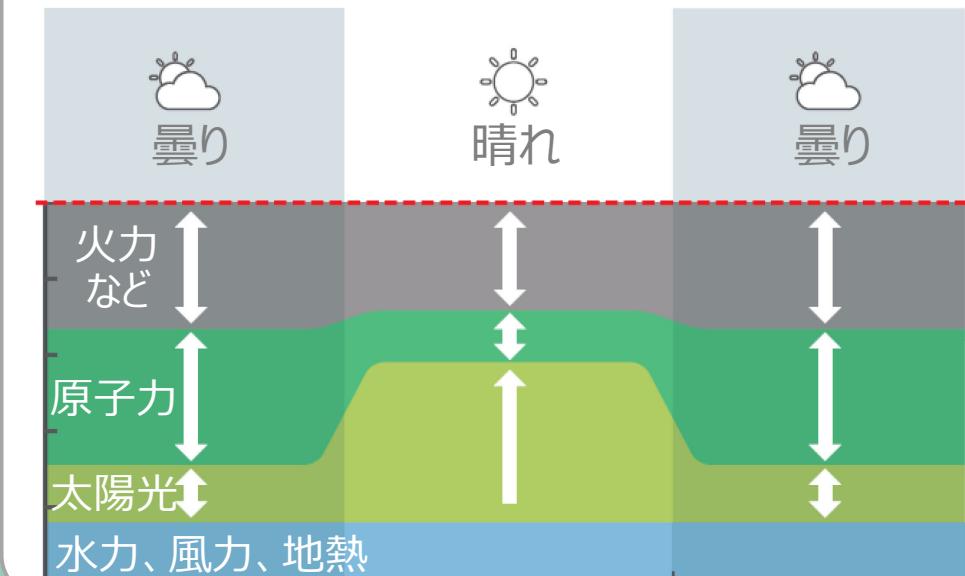


負荷追従運転による電力系統の安定化

(性能ターゲット)

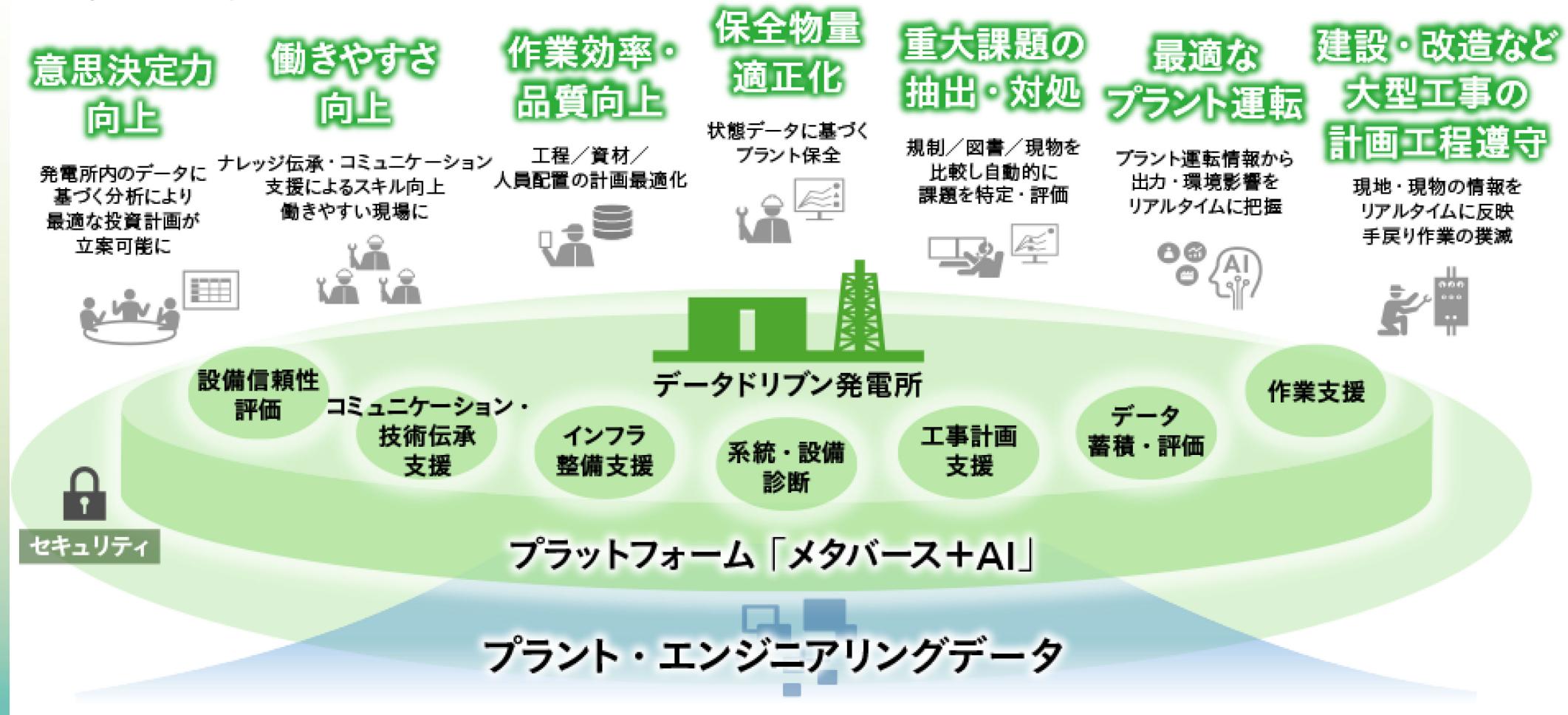
- 日負荷追従運転（一日単位の出力調整）
 - 100~70%出力：再循環流量制御により出力調整
 - 100~50%出力：さらに制御棒操作により出力調整
- 周波数制御運転*：95±5%出力範囲
- ガナバフリー運転**：98.5±1.5%出力範囲

*発電機の回転速度（周波数）を一定に保つよう出力調整
**系統周波数を一定に保つよう出力調整



2-7. デジタル技術の活用

- ・ デジタルツイン技術をベースにした“データドリブン発電所”的構築を目指す。
- ・ 設計・建設・運用・保守・廃止措置のいずれのフェーズにおいても、データを有効に活用して課題解決を行い、業務を革新する。



出典：“デジタル技術を活用した原子力O&M高度化の取り組み”、2025年4月、日立評論

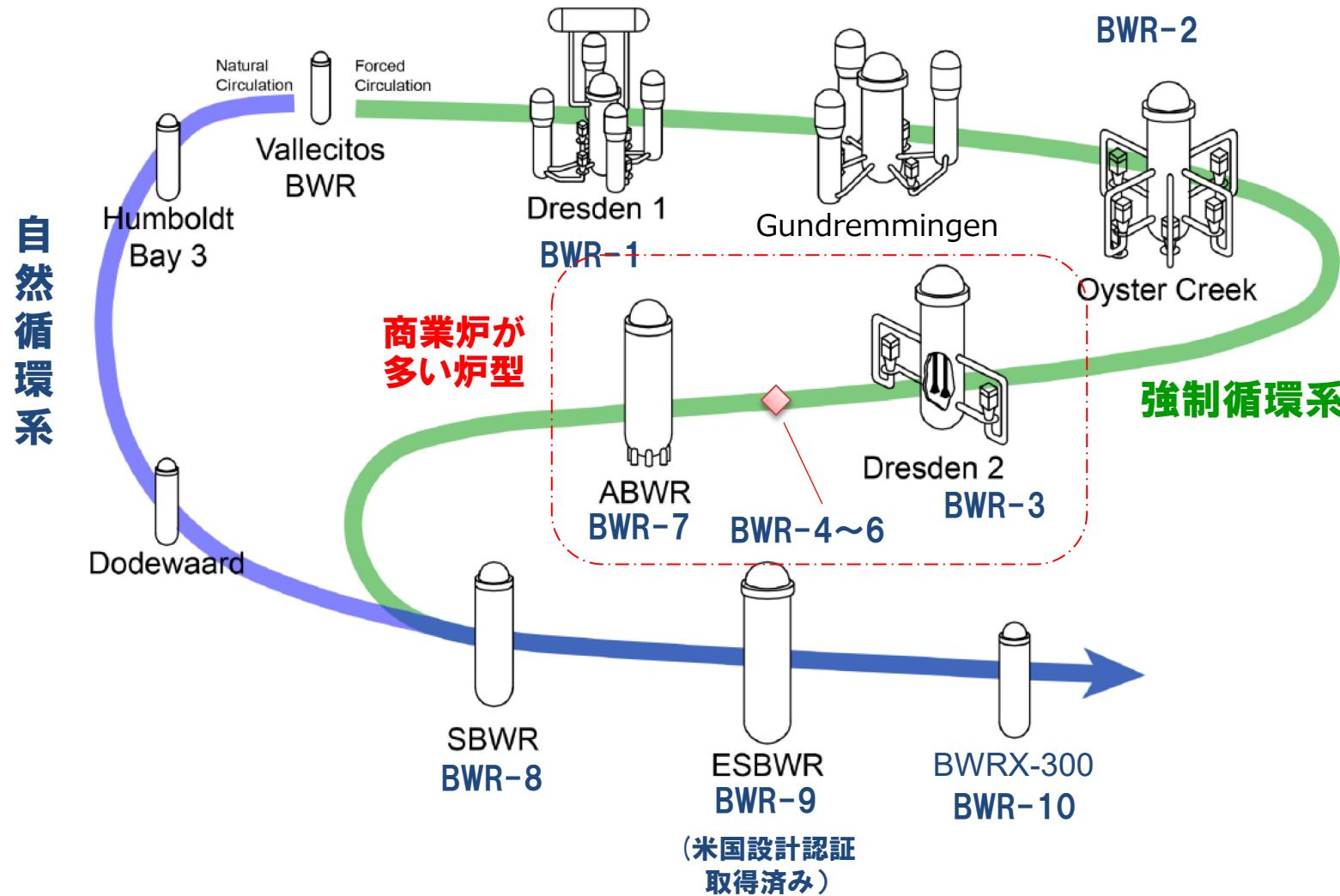
© Hitachi GE Vernona Nuclear Energy, Ltd. 2025. All rights reserved

Contents

1. 日立GEベルノバの開発方針と原子力ビジョン
2. 大型革新軽水炉 HI-ABWR の開発アプローチと特長
3. 小型革新軽水炉 BWRX-300 の特長と海外最新状況
4. まとめ

3-1. BWR発展の歴史

技術革新/社会的ニーズに応じた発展



従来の建設プラントの 多くは強制循環系を採用

- 高出力プラントの採用
- 燃料性能の最大化
- 再循環ポンプの採用



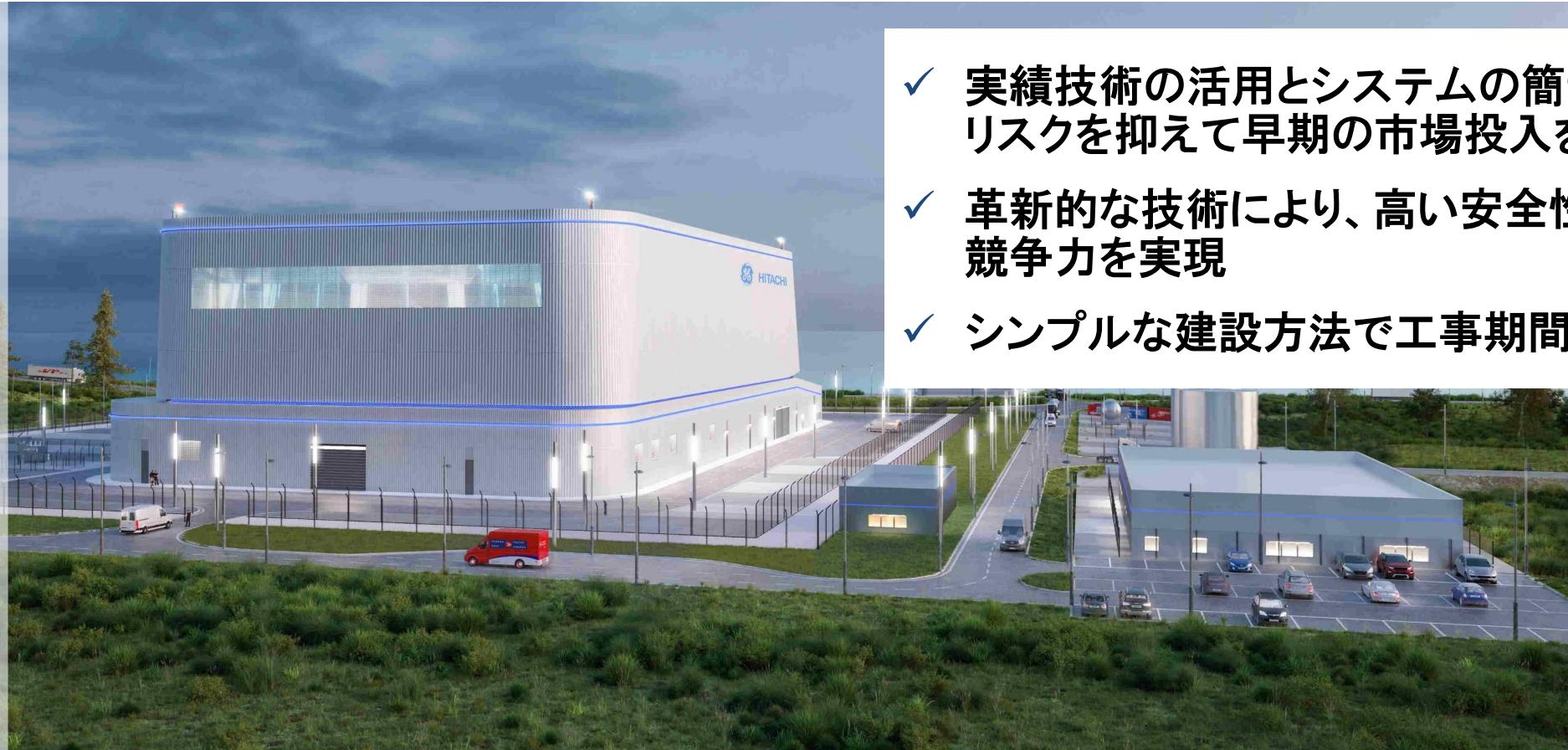
社会的要請への対応

- 建設コストの削減
- 安全性の向上
 - ✓ 自然循環冷却
 - ✓ 静的安全系の採用

3-2. 高経済性小型炉BWRX-300

よりスマートに、よりシンプルに

60年にわたるBWRの技術と実績をもとに開発した10番目のBWR設計



- ✓ 実績技術の活用とシステムの簡素化により、リスクを抑えて早期の市場投入を実現
- ✓ 革新的な技術により、高い安全性とコスト競争力を実現
- ✓ シンプルな建設方法で工事期間を短縮

3-3. BWRX-300の特長

安全性・経済性・建設性・柔軟性に優れた小型軽水炉

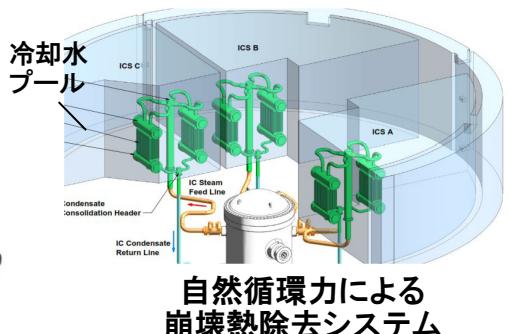
革新的な安全システム

冷却材喪失事故
(LOCA)を抑制



隔離弁一体型原子炉

交流電源・人的操作
なしで7日間冷却可能



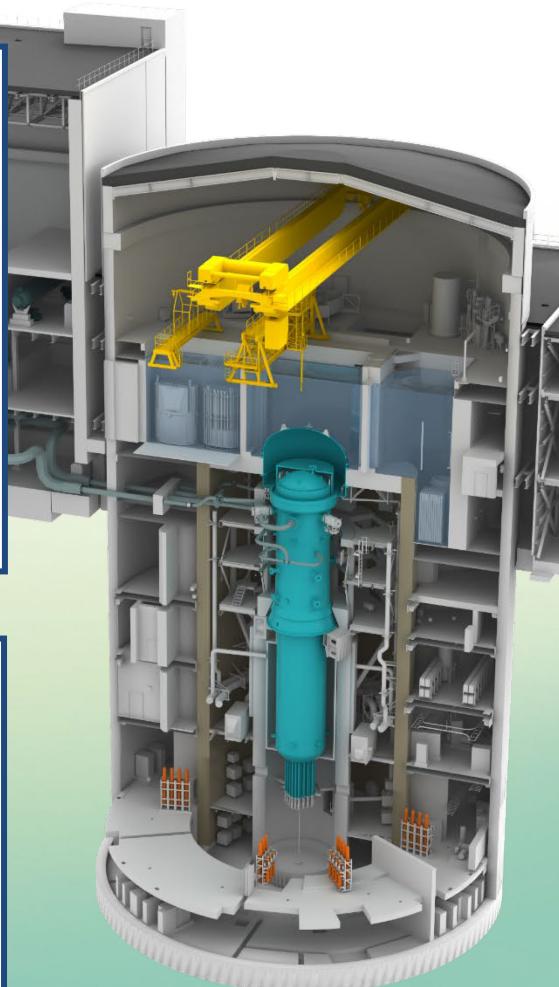
短く確実な建設

国内で実績あるモジュール工法の採用



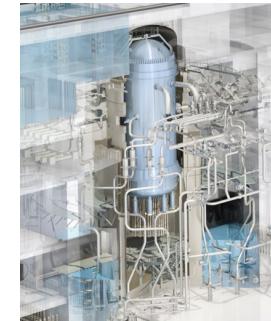
短期間で
確実な建設

ABWRの高圧ドレンポンプ
配管・弁室モジュール



優れた経済性

革新的な安全システム導入による
システム単純化 → 物量大幅低減



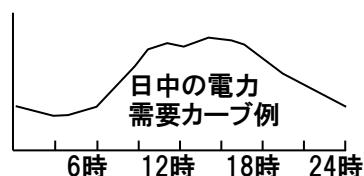
ABWR

BWRX-300



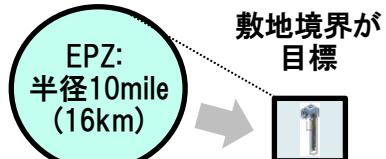
柔軟性

運転柔軟性



負荷変動への対応を可能とする出力制御

立地柔軟性

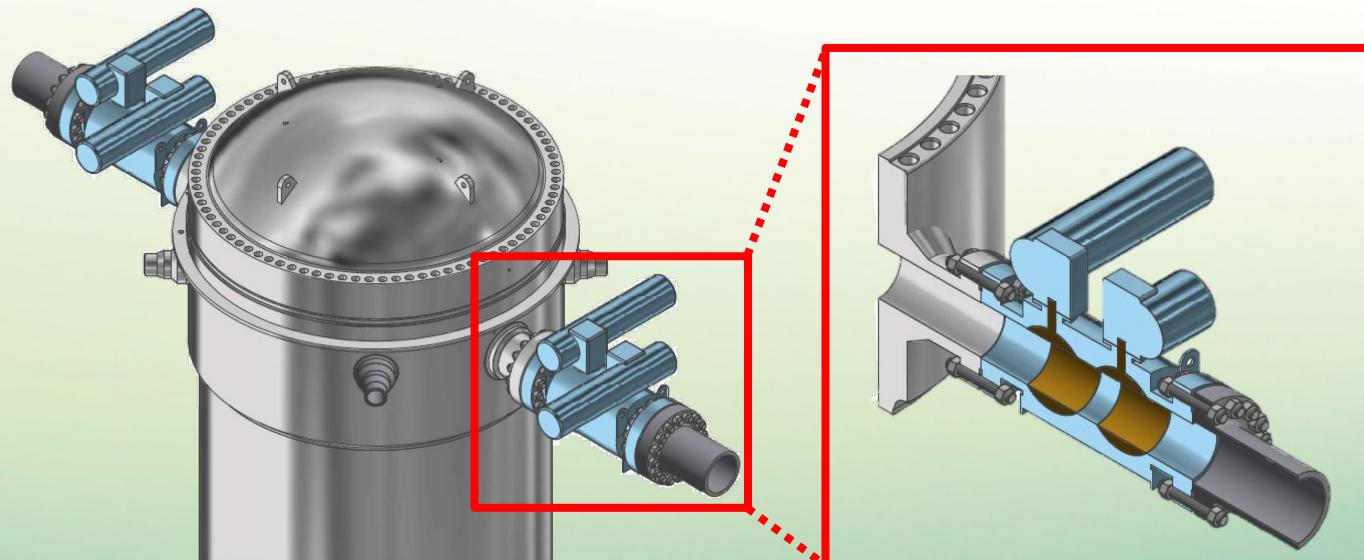


事故影響低減によるEPZ縮小*
→ 社会的受容性向上

*北米の例、EPZ: Emergency Planning Zone

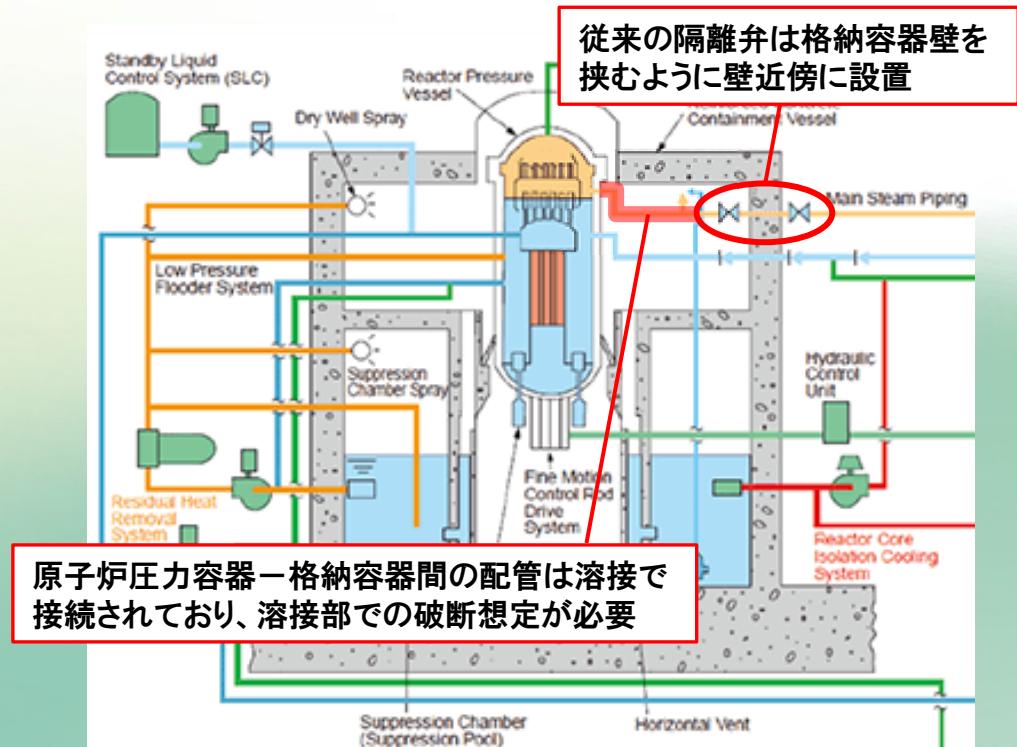
3-4. 隔離弁一体型原子炉

- 原子炉圧力容器に隔離弁を直付けし、冷却材喪失事故(LOCA)の発生確率と影響を大幅に低減
- 二重化された隔離弁を原子炉圧力容器に法兰で直付し、接続配管や溶接部を無くすことで破断回避
→ 配管破断による大規模な冷却材流出が生じないため、原子炉内の冷却材量を維持することが可能



隔離弁一体型原子炉

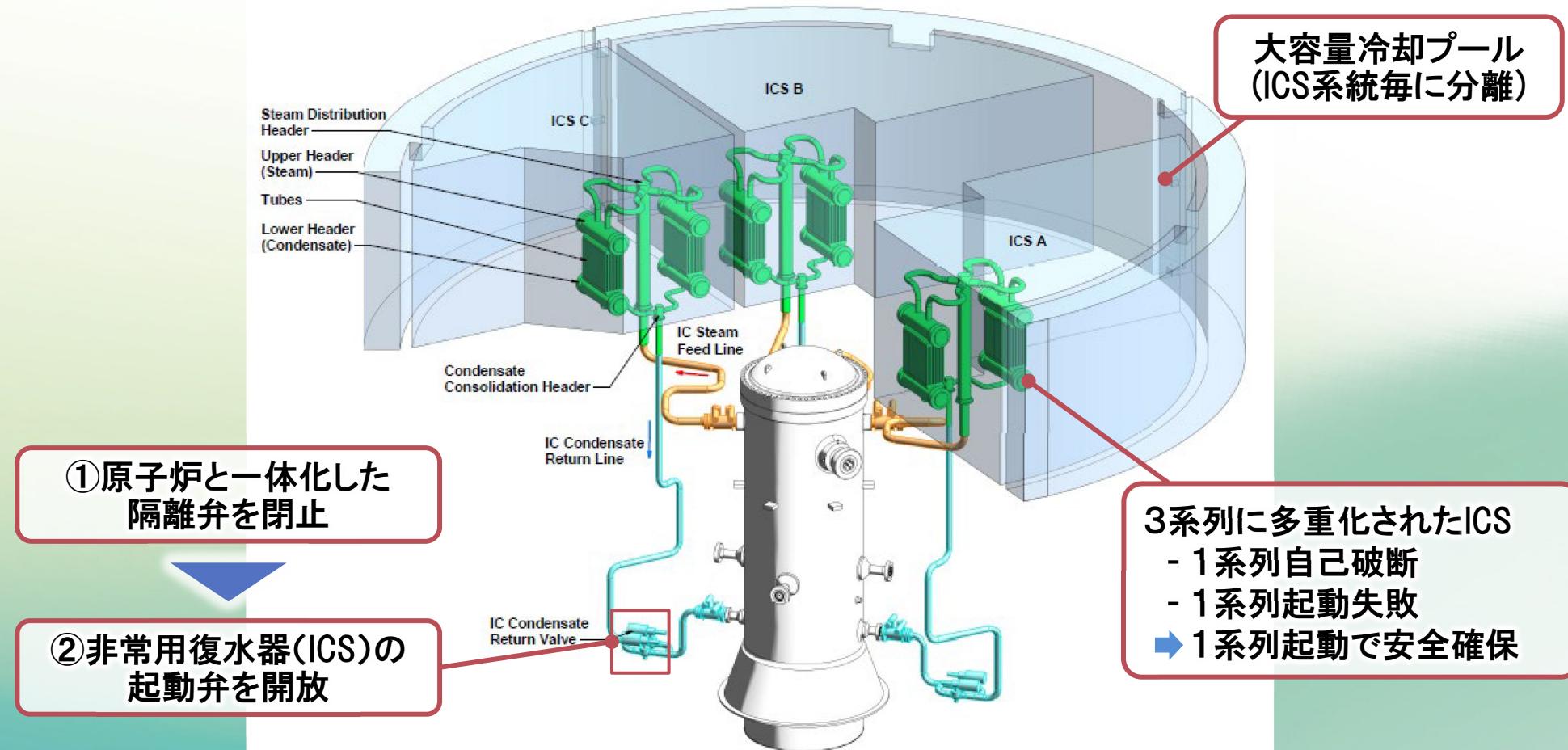
【参考】従来ABWRの隔離弁配置



出典：日立評論, Vol. 100, No.01

3-5. 非常用復水器（ICS）による事故収束

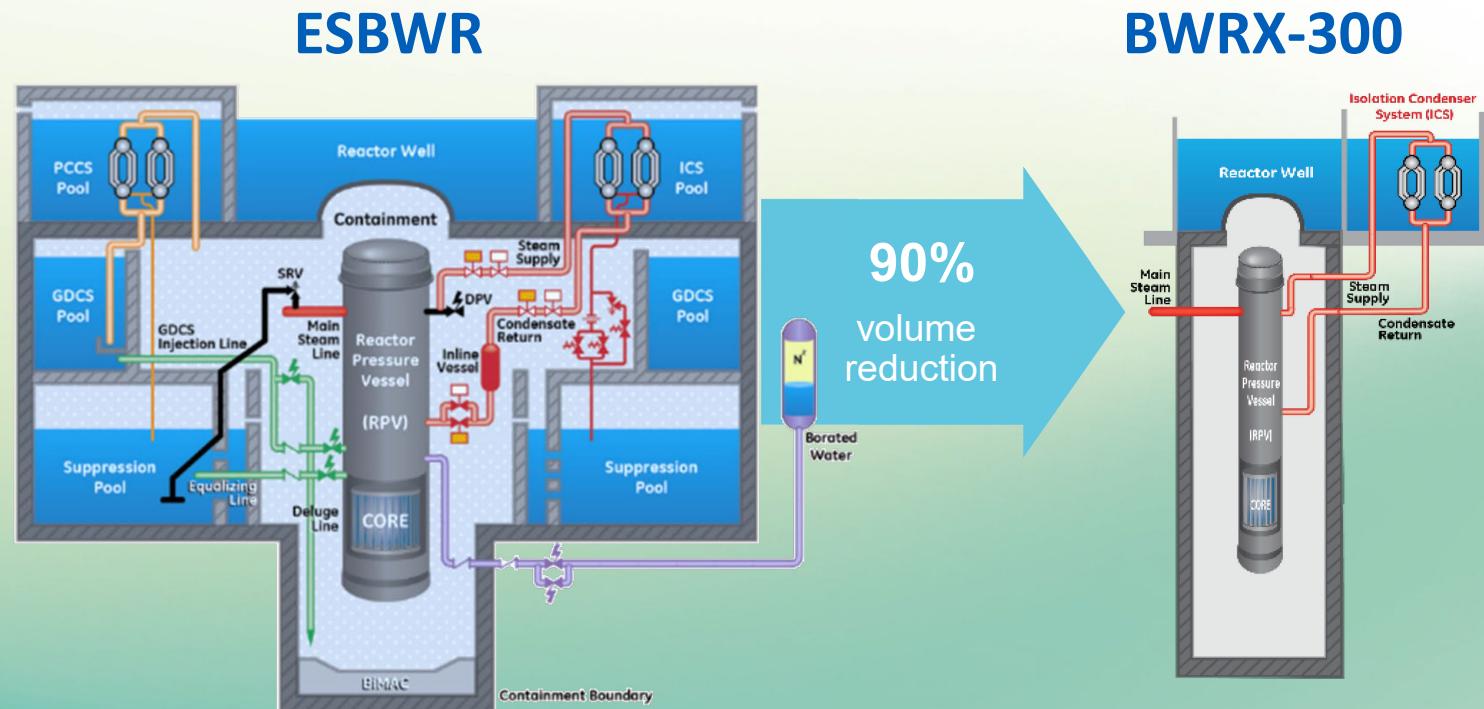
- 原子炉スクラム後、統一された簡素な2段階のプロセスで事故を収束（①隔離弁閉止 ⇒ ②ICS起動弁開放）
- 3台あるICSのうち、1台が起動に成功すれば崩壊熱除去及び減圧が可能
- 大容量冷却プールにより、外部動力・支援、運転員操作無しに7日間の冷却維持が可能



3-6. システム簡素化によるコスト低減

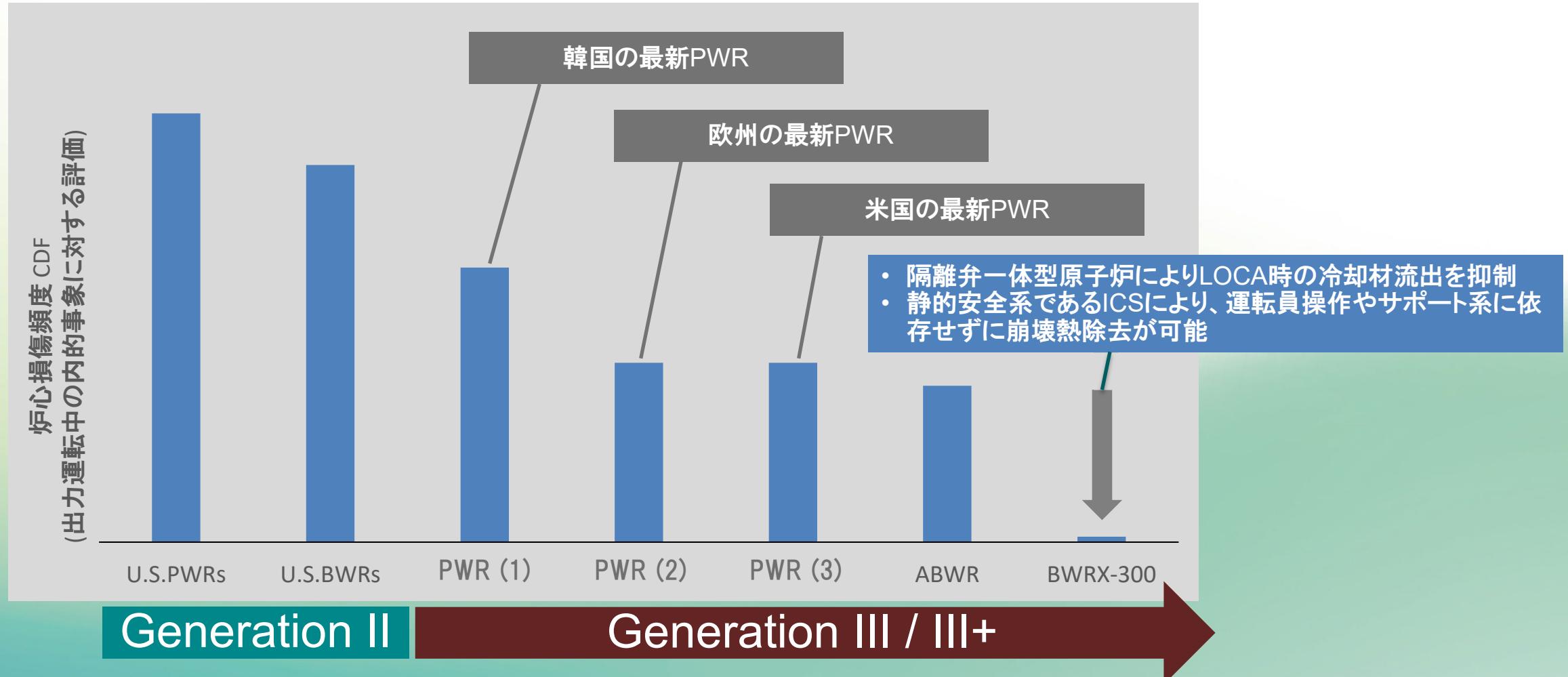
“自然循環 + ICS + 隔離弁一体型原子炉” コンセプトによるコスト低減

- 従来BWRに比較し、複数のシステムや機器を削減し簡素化
(LOCA対応のサプレッションプールや注水設備、主蒸気逃し安全弁、減圧弁等)
- 単位出力当たり(/MW)の建屋容積、コンクリート物量を50%以下まで削減



3-7. システム簡素化による安全性の向上

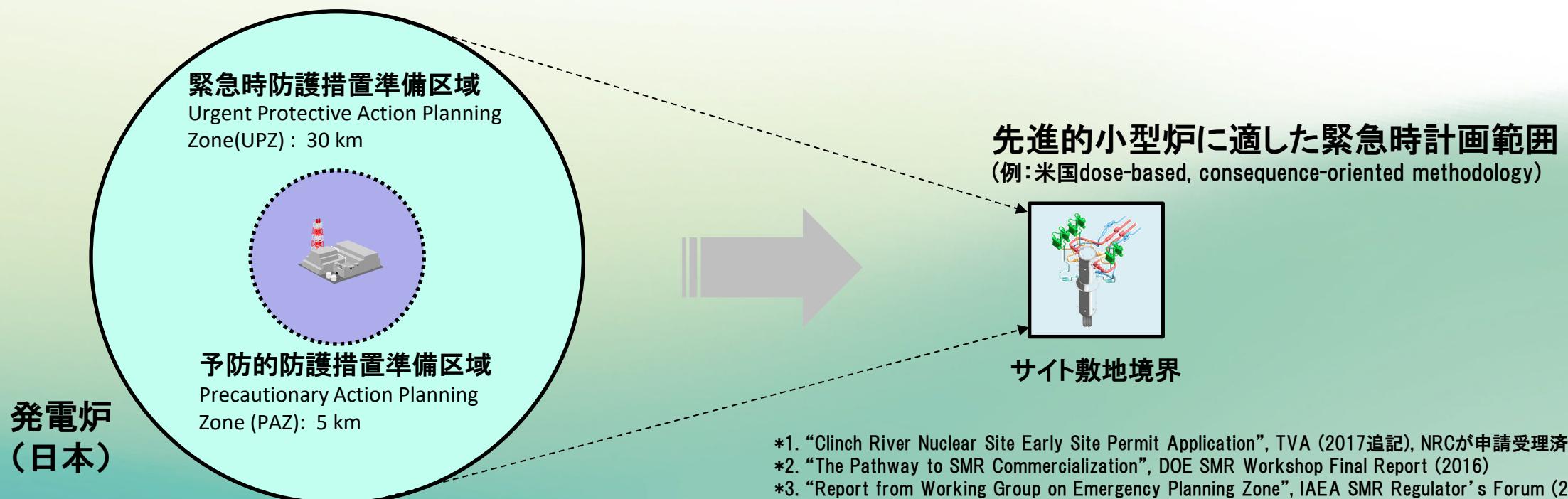
隔離弁一体型原子炉と静的安全系を組み合わせた革新的な安全システムにより、システムを簡素化しつつ信頼性を向上し、世界最高水準の安全性を実現。



3-8. 社会的受容性向上へのチャレンジ

- 国際的なアプローチ、プラント安全性をもとに、緊急時防護措置準備区域の
敷地境界レベルへの縮小を目指す

- 米TVA^{*1}・DOE^{*2}、IAEA^{*3}は、小型炉特有の特性から緊急時計画範囲(EPZ)の縮小を検討:
 - 炉内の核燃料が少なく、事故時放射性物質放出量が少ない
 - 先進的小型炉の高い安全性(例:電源喪失時7日間の炉心冷却維持)
 - TVA Clinch Riverサイトの例では、核分裂生成物放出の頻度が閾値以下に抑えられる場合はリスクを許容し、閾値を超える場合は被ばく評価によりEPZを設定



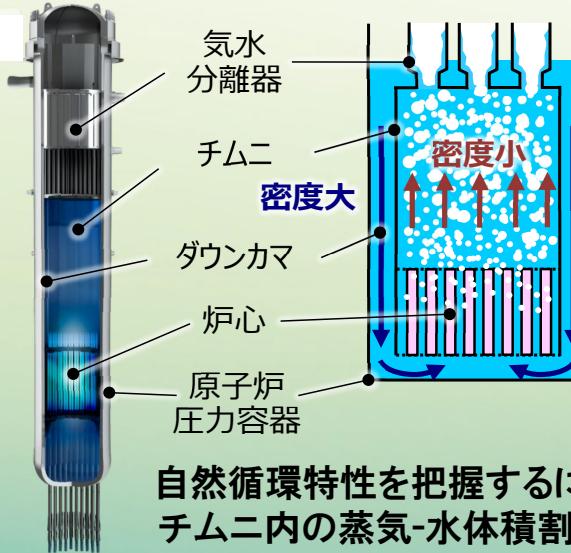
*1. "Clinch River Nuclear Site Early Site Permit Application", TVA (2017追記), NRCが申請受理済み
*2. "The Pathway to SMR Commercialization", DOE SMR Workshop Final Report (2016)
*3. "Report from Working Group on Emergency Planning Zone", IAEA SMR Regulator's Forum (2018)

3-9. 主要な技術開発* (自然循環評価、弁箱製作手法、気水分離器)

BWRX-300の信頼性向上、経済性向上に向けた日立GEベルノバの取組み

自然循環流量評価手法(開発完了)

- 自然循環による炉心冷却を実証:
世界最大規模の試験設備HUSTLEで、BWRX-300実機
条件を想定した実温実圧試験を実施。
- 本試験データで検証された解析コードをカナダの許認可で
使用。



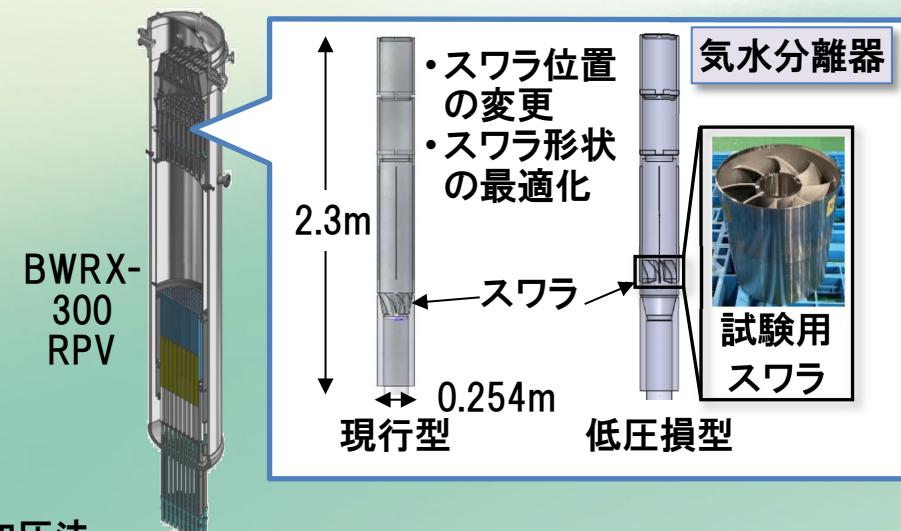
HUSTLE: 日立GEベルノバ
が所有する世界最大規模の
BWR実温実圧試験設備

一体型原子炉隔離弁 弁箱製作手法(開発中)

- 弁箱重量低減(耐震性向上)、弁箱製作コスト低減を
実現する新たな弁箱製作手法。
- 鍛造材並み機械特性を、鋳造材+HIP**で実現。

低圧力損失型気水分離器(開発中)

- 圧力損失を低減し、自然循環流量増加(炉心冷却性能向上)、気水分離器員数低減により経済性を向上。
- HI-ABWRにも適用可能。

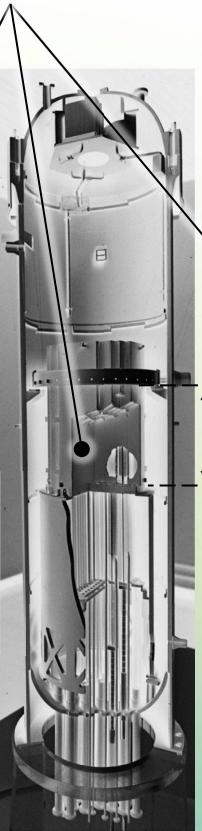
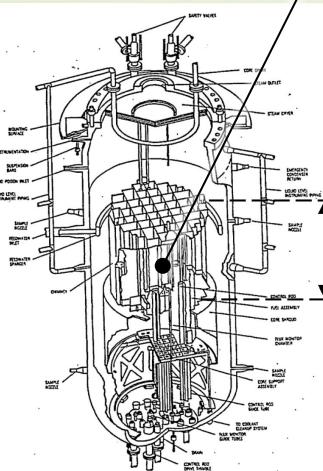


*エネ庁補助事業 ** HIP : 熱間等方加圧法

従来のチムニに存在した整流格子板を削除し定検を効率化

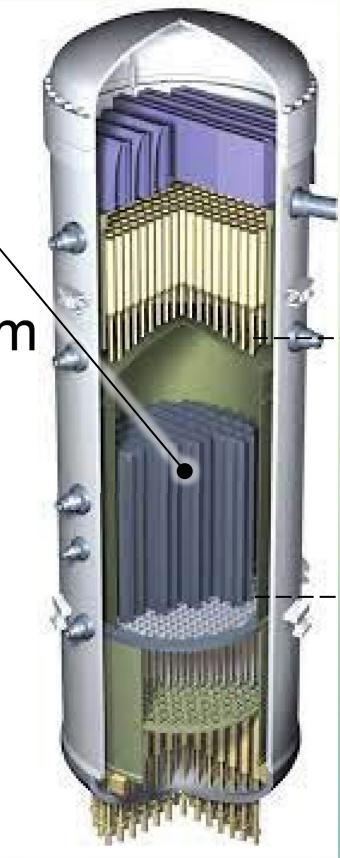
従来の整流格子板付きチムニ

Humboldt
Bay 3
(1963)

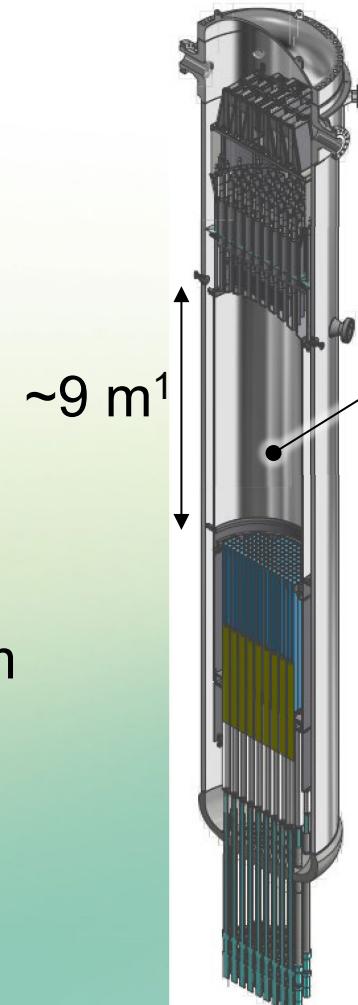


Dodewaard
(1968)

ESBWR

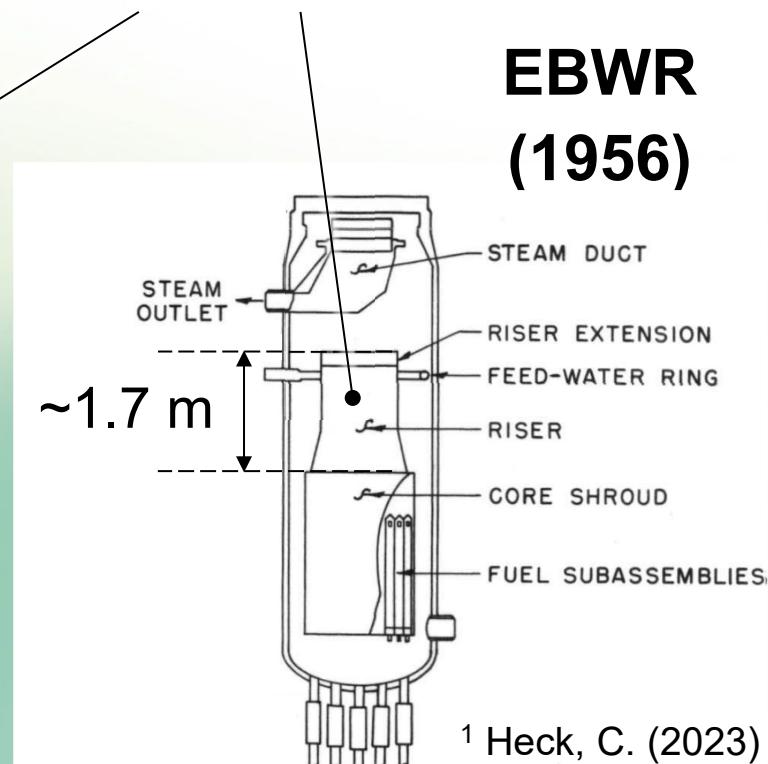


BWRX-300



整流格子板を削除した
簡素化チムニ
(日立GEベルノバが
性能実証試験を実施)

EBWR
(1956)

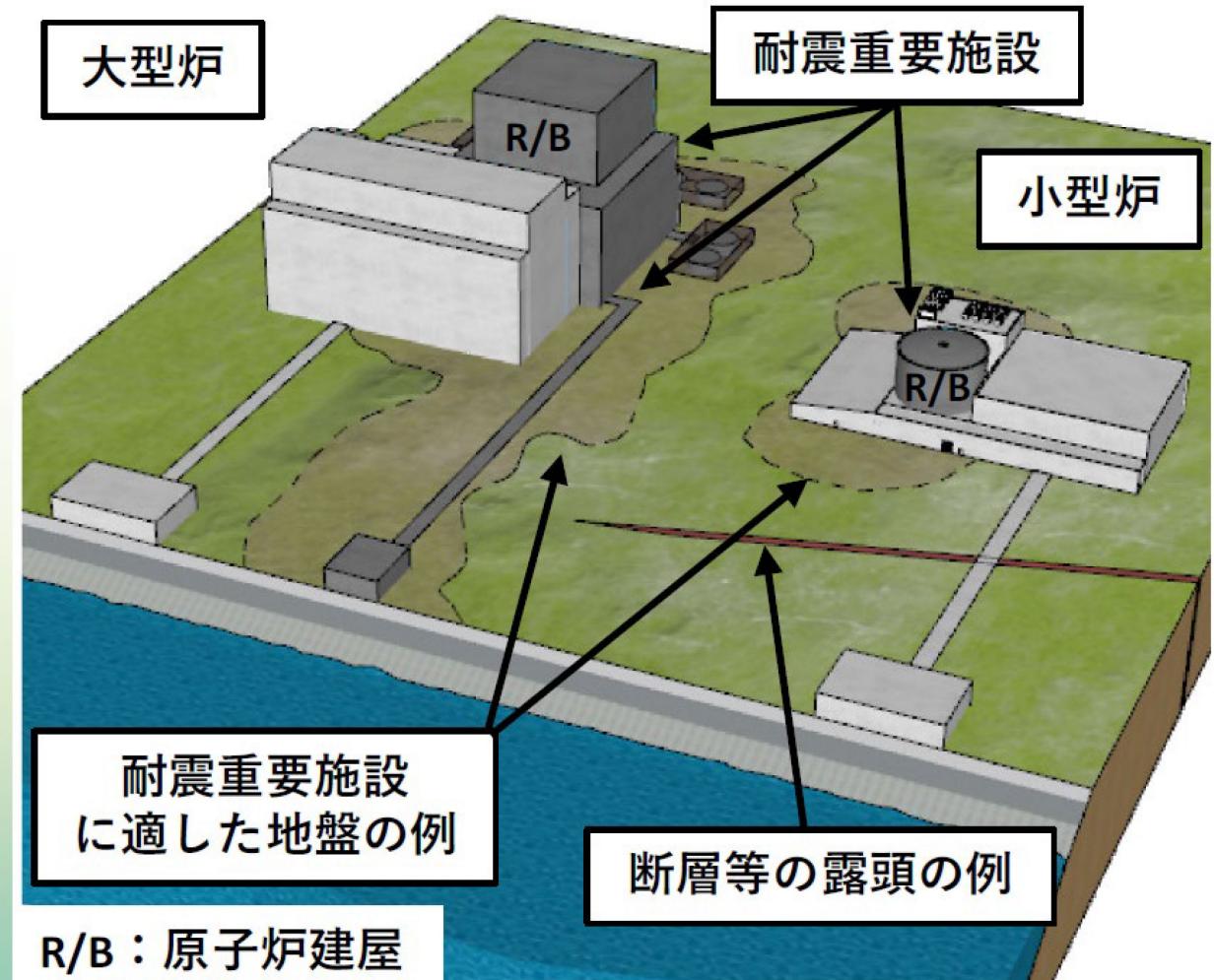


¹ Heck, C. (2023)

3-10. BWRX-300の立地柔軟性（中部電力殿との共同研究）

中部電力殿との共同研究で検討し、日本原子力学会2024年春の年会にて、中部電力殿から発表頂いた成果。（以下は、学会予稿の要約）

- 狭隘地への適応性は高く、廃炉サイトで解体撤去を終えた設備の跡地を利用し、廃炉と並行して建設することも期待できる。
- BWRX-300は静的安全系を採用しているため、外部水源の取水設備が安全設備から外れ、安全設備の設置範囲が大幅に縮小する。（取水設備の断層回避不要）
- 海水冷却に依存しないプラント概念を念頭にクリーリングタワーの適用性を調査した結果、国内外のクリーリングタワーの実績の範囲内であり、基本的な適用性を有している。



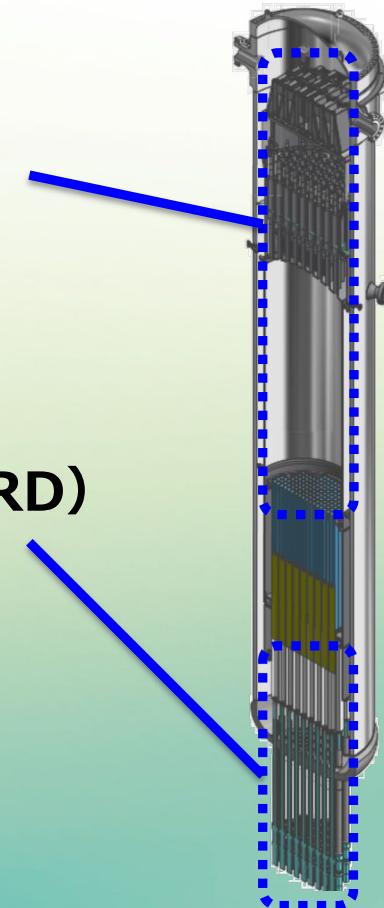
引用元：山本英二 他5名、日本原子力学会2024年春の年会、1M11

3-11. 実証済み技術を活用した早期実用化

- 燃料は市場最新燃料を採用し、原子炉圧力容器・炉内構造物、システム・機器の多くは、建設・運転実績豊富なABWR/BWR、米国で設計認証(Design Certification) 取得済みのESBWRの技術を用いて設計
- 成熟した技術と革新的な安全性向上策を融合し、早期の市場導入が可能
- プラントの性能、安全性に直結する主要機器は日立GEベルノバが供給

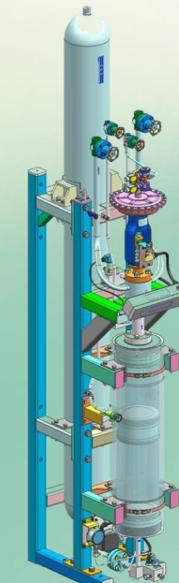
炉内構造物

原子炉圧力容器内の構造物。燃料の冷却性能やプラント熱効率に影響するため、高い精度で製作する必要がある。



制御棒駆動水圧ユニット

異常を検知した時に、制御棒を急速挿入(スクラム)する装置。原子炉の安全性に直結するため、高い信頼性が必要。



改良型制御棒駆動機構 (FMCRD)

原子炉の出力を制御する制御棒を駆動する装置。原子炉の性能や安全性に直結するため、高い信頼性が必要。

ABWRの
制御棒駆動
水圧制御ユニット

3-12. 西側諸国初のSMR*としてBWRX-300の実炉建設が決定



* SMR: 小型モジュール炉

- カナダ・オンタリオ州の州営電力会社 Ontario Power Generation社は同社の Darlingtonサイトに、GE Vernova Hitachi Nuclear Energyと日立GEベルノバニュークリアエナジーが共同開発した BWRX-300の初号機を建設することを 正式に決定。(2025年5月8日)
- それに先立つ2025年4月4日、カナダ原子力安全委員会(CNSC)は、DarlingtonサイトへのBWRX-300建設許可を発行。
- 初号機は2030年に運転開始予定で、4基のBWRX-300の建設を計画。

The screenshot shows a news release from Ontario Power Generation (OPG) titled "North America's first Small Modular Reactor". The headline reads "Ontario Leads the G7 by Building First Small Modular Reactor". The article discusses the construction of a Small Modular Reactor (SMR) at the Darlington nuclear site, which will create 18,000 Canadian jobs and add up to \$500 million annually to Ontario's economy. It also mentions the need for site preparation and procurement of long-term supplies. The page includes a table of contents, social sharing options, and media contact information.

North America's first Small Modular Reactor

Ontario Leads the G7 by Building First Small Modular Reactor

Construction will create 18,000 Canadian jobs, add up to \$500 million annually to Ontario's economy and help secure clean, reliable energy

May 08, 2025

Table of Contents

1. Content
2. Quick Facts
3. Quotes
4. Additional Resources

CLARINGTON – With electricity demand in Ontario set to soar by at least 75 per cent by 2050, the Ontario government has approved Ontario Power Generation's (OPG) plan to begin construction on the first of four small modular reactors (SMRs) at the Darlington nuclear site. Once complete, this SMR will be the first of its kind in the G7, producing enough reliable, affordable and clean electricity to power the equivalent of 300,000 homes, supporting thousands of good-paying

Share

Media Contacts

Isha Chaudhuri
Minister Lecce's Office
isha.chaudhuri@ontario.ca

3-13. カナダDarlingtonサイトの準備状況



Source: Ontario Power Generation

3-14. 海外規制対応

- 米国ではLTR*、カナダではベンダ設計審査 VDR**など、電力会社による建設決定に先立ち、規制局が審査をする枠組みが存在。
 - ✓ 革新技術に対する規制予見性が向上
 - ✓ 米国-カナダは規制局が審査で協力(設計標準化可能)
- カナダ初号機は2030年運転開始予定。その後、国内にもBWRX-300を導入。

年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
米国規制局(NRC)		主要な設計変更点を LTR で審査 ▼隔離弁一体型原子炉のLTR認可 ▼格納容器性能評価のLTR認可 ▼反応度制御のLTR認可		NRCとCNSCがBWRX-300の審査で協力する憲章に署名(2022年10月)		TVAが米国で初となるSMR(BWRX-300)の建設許可を申請(2025年5月) ▼	
カナダ規制局(CNSC)		ベンダ設計審査 VDR を実施 第2段階まで完了し(SMRとして初)、根本的障害無しと結論(2023年3月)		OPGが候補炉型として BWRX-300を選定 ▼ 建設許可を申請(2022年10月)	OPGがBWRX-300の建設を決定(2025年5月) ▼ 建設許可認可(2025年4月)		

* LTR : Licensing Topical Report ** VDR : Vendor Design Review

3-15. 世界で進むBWRX-300プロジェクト

北米・欧州でBWRX-300プロジェクトが具体化、国内導入に向け国プロによる開発を継続中



[ポーランド] SGE - 最大10基のBWRX-300建設を目指してPKN OrlenとJVを設立

Estonia
UK
Poland - SGE

[英] 政府補助を獲得し、BWRX-300の包括設計審査(GDA)をStep 2まで完了

[加] SaskPower - 導入炉型としてBWRX-300を採用



[加] OPG - BWRX-300の建設を決定



[米] TVA - Clinch River向けにBWRX-300設計、許認可準備等を進めると表明



GVH: GE Vernova Hitachi Nuclear Energy
NEXIP: Nuclear Energy x Innovation Promotion Program
OPG : Ontario Power Generation Darlington New Nuclear Project
SGE: Synthos Green Energy
TVA: Tennessee Valley Authority



4. まとめ

- 日立GEベルノバは、将来の国内エネルギー需要を満たし、安定電源によるカーボンニュートラル社会実現に貢献するため、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉として、大型革新軽水炉 HI-ABWR、小型革新軽水炉 BWRX-300 の実用化を進めている。
- HI-ABWRは、福島第一原子力発電所事故の教訓を設計段階から反映し、英国・欧州規制の要求を満たしたUK ABWRに、新たな安全メカニズムを組み込み、世界最高水準の安全性を実現する。
- 静的安全システムの採用、自然災害・テロ・内部ハザード対策強化の他、放射性物質の放出を抑制できる新技術である、希ガスフィルタの開発なども行っている。
- BWRX-300は、日立GEベルノバと米国姉妹会社であるGE Vernova Hitachiが、グローバルアライアンスのもとで実用化を推進している。隔離弁一体型原子炉と静的安全系である非常用復水器を組み合わせた、革新的な安全システム採用により、安全性と経済性を両立する。
- 2025年5月、カナダ・オンタリオ州の州営電力会社であるOntario Power Generation社が Darlington New NuclearサイトへのBWRX-300の建設開始を決定した。初号機は西側諸国初のSMRとして2030年に運転を開始予定。

HITACHI



GE VERNONA