

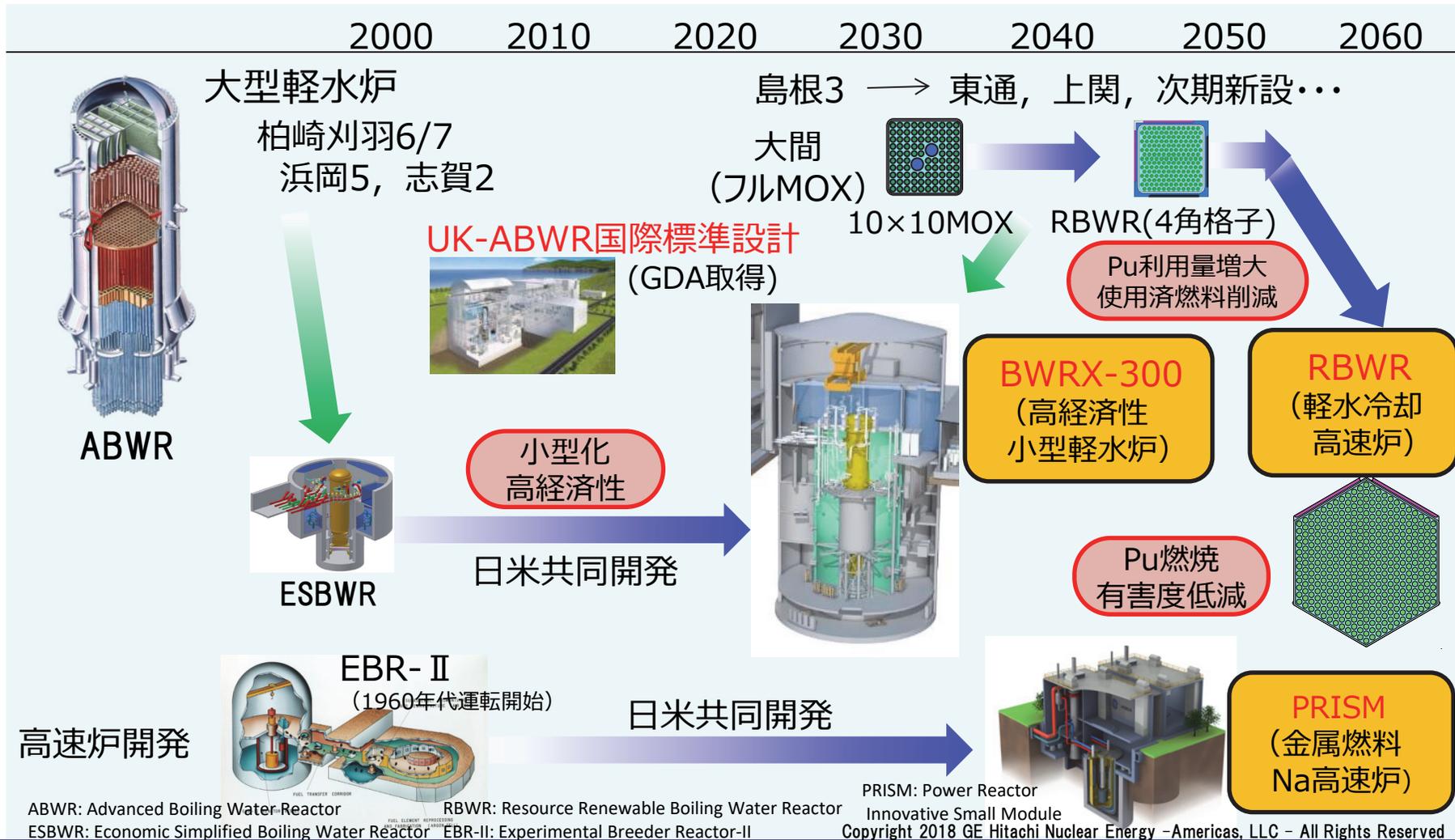
小型軽水炉 BWRX-300

2022年 10月 29日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社
木藤 和明

日立の原子力発電プラント開発戦略

- BWRの設計・建設経験をもとに、高い社会価値、環境価値、経済価値を提供する新型炉を、オープンイノベーションで国際共同開発



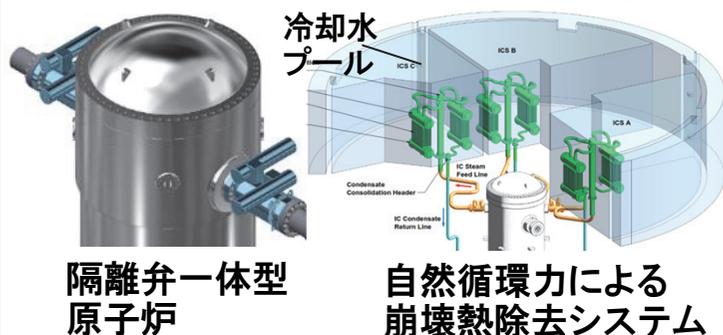
高い安全性と経済性を実現する小型炉の開発

HITACHI



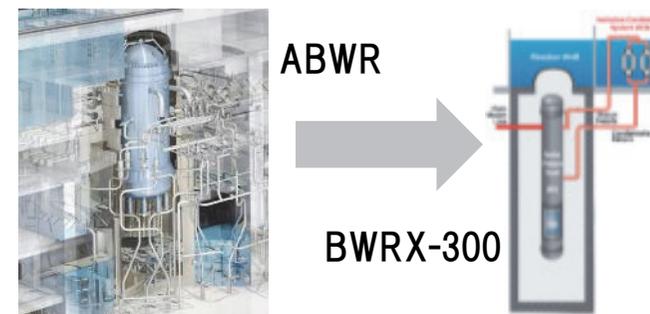
革新的安全システム

冷却材喪失事故を抑制
電源・人的操作なしで7日間冷却可能



優れた経済性

革新的安全システム導入によるシステム単純化→物量大幅低減



短く確実な建設

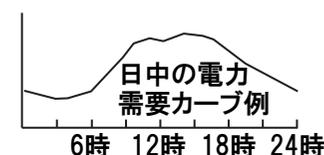
国内で実績あるモジュール工法採用



ABWRの高圧ドレンポンプ配管・弁室モジュール

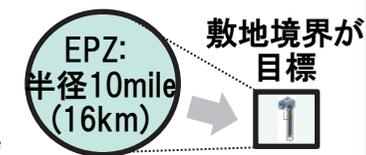
柔軟性

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



小さい事故影響が導くEPZ縮小*

*北米の例。EPZ: Emergency Planning Zone

- 2021/12/2 カナダ電力OPG (Ontario Power Generation)は、同社Darlingtonサイトの新設プロジェクトにBWRX-300を選定したことを正式にアナウンス
- OPGとGE日立は、カナダ初のSMR導入を2028年に完了することを相互の目標とし、エンジニアリング、設計、許認可準備、サイト準備において協働していく。
- サスカチュワン州もオンタリオ州に続き、2030年代初頭に初号機の運転開始、最大4基のSMR建設を検討している。
- 英国、米国、フランス、ポーランド、エストニアを含む諸外国もSMR建設に関心を示しており、オンタリオ州はカナダ・国際的なサプライチェーンに貢献する。
- サイト準備は適切な承認を待って2022年春に開始予定。OPGは建設許可(LTC)を2022年末までに規制局(CNSC)に申請することを目標としている。



Darlingtonサイト



記者発表するOPGのHartwick CEO

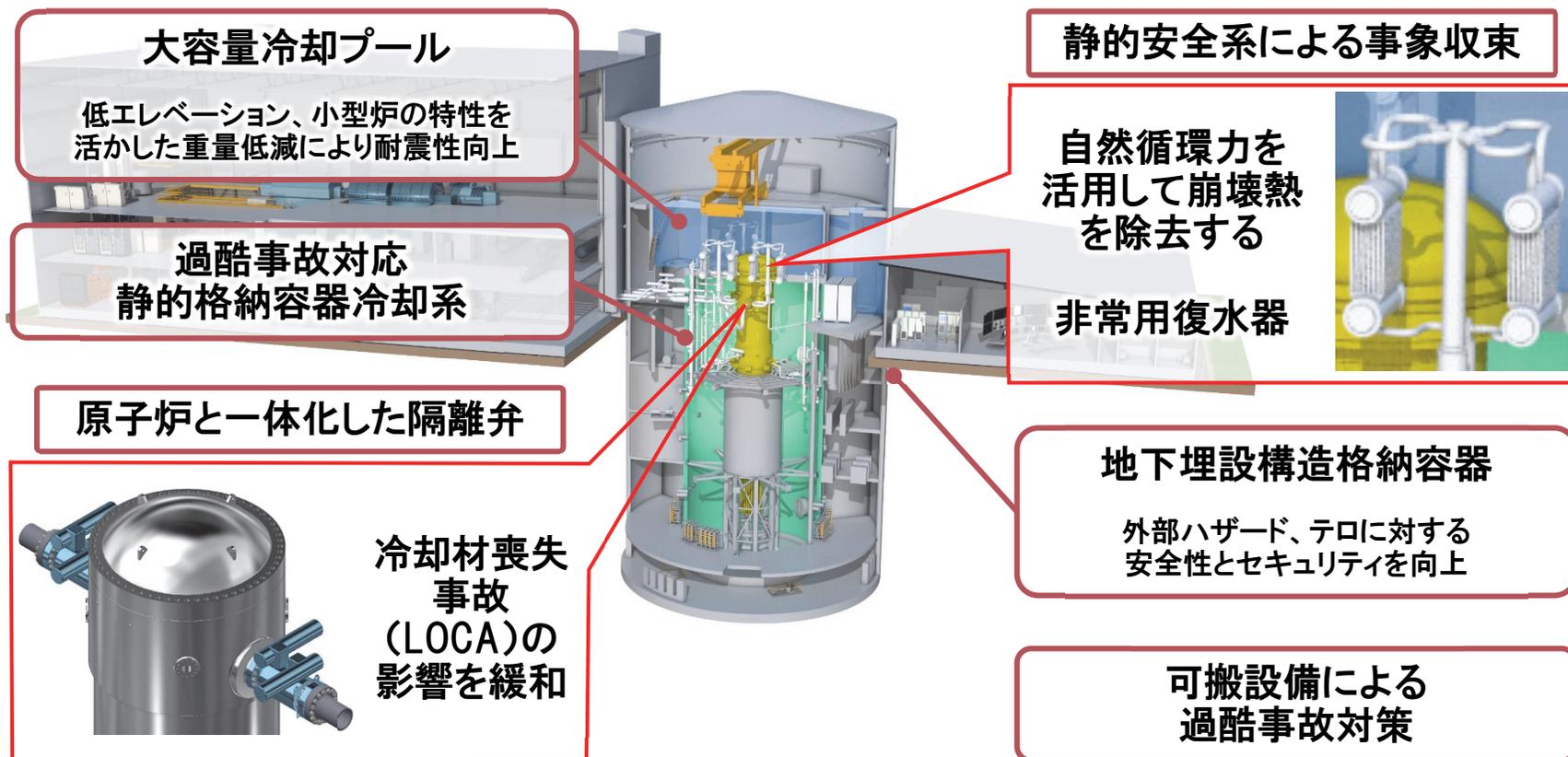
- シンプルなBWRを更に簡素化し、他電源に対して競争力のある小型 軽水炉を開発
- 高い安全性と経済性の両立を目指した設計

- ✓ 第10世代BWR
- ✓ 300MWe級SMR (Small Module Reactor)
- ✓ 「隔離弁一体型原子炉」採用によるLOCAリスクの徹底的低減 (炉廻り安全設備の簡素化)
- ✓ 建屋面積の縮小と、先進建設工法の採用による建設コストの大幅な低減
- ✓ 世界最高水準の安全性、実証済み技術の採用、充実した燃料及び機器供給網



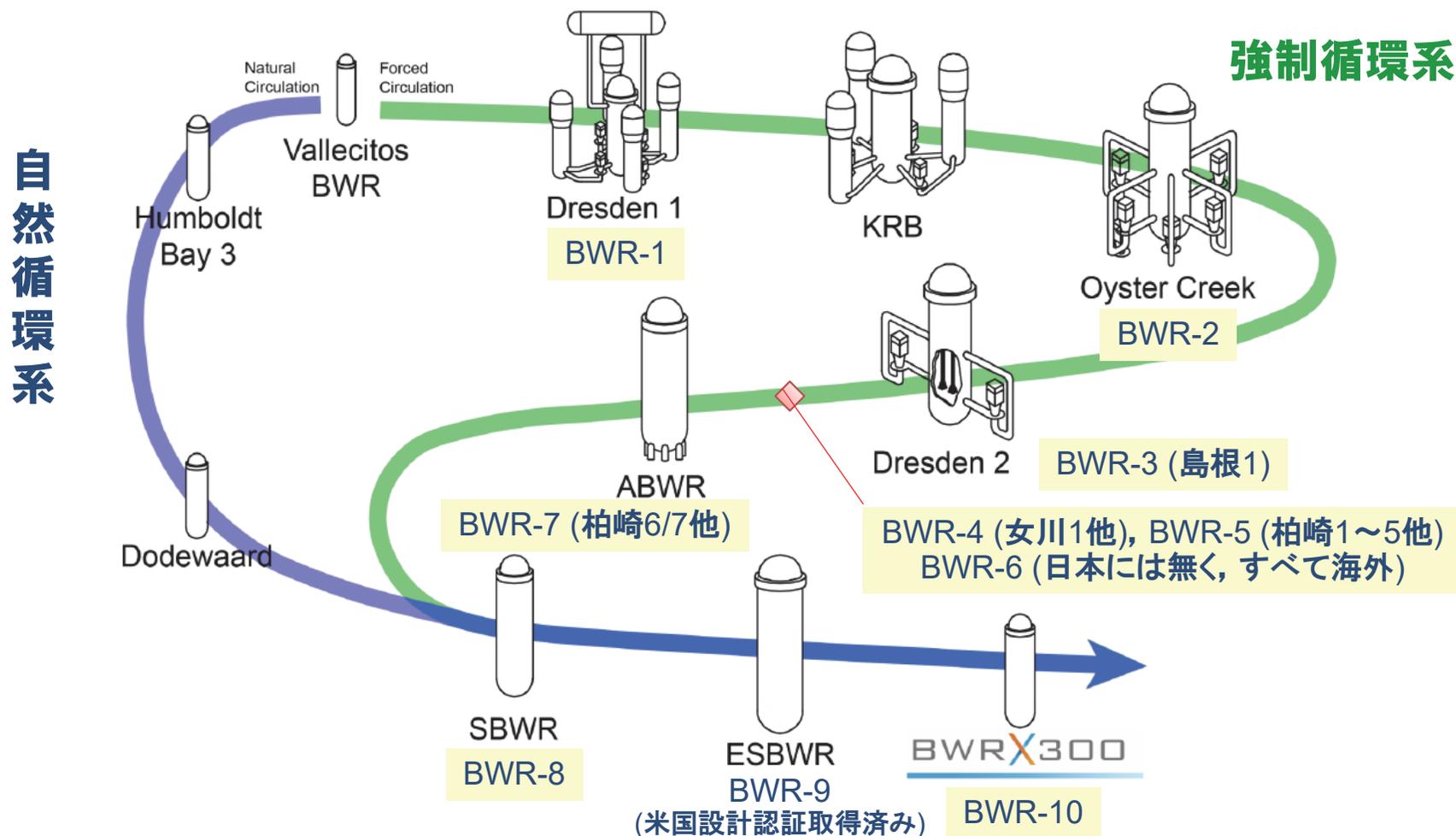
BWRX-300の安全設計の概要

- “シンプルなシステム”を追求することで、高い安全性・信頼性と、経済性を両立
- 革新的な隔離弁一体型原子炉の採用により、冷却材喪失事故(LOCA)の影響を緩和
- 事故・過渡事象は、外部動力や支援に頼らない静的安全系を用い、統一された簡素な手順で収束



BWR発展の歴史

- BWRX-300(第10世代BWR)は、シンプルなBWRを更に簡素化し、安全性、信頼性、経済性を追及

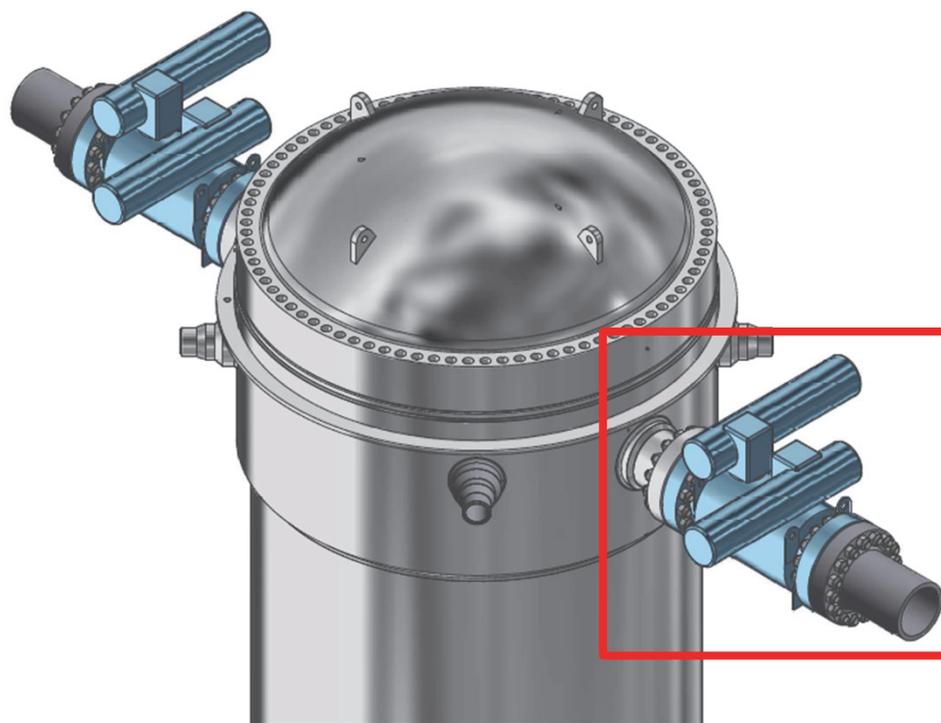


隔離弁一体型原子炉の概念

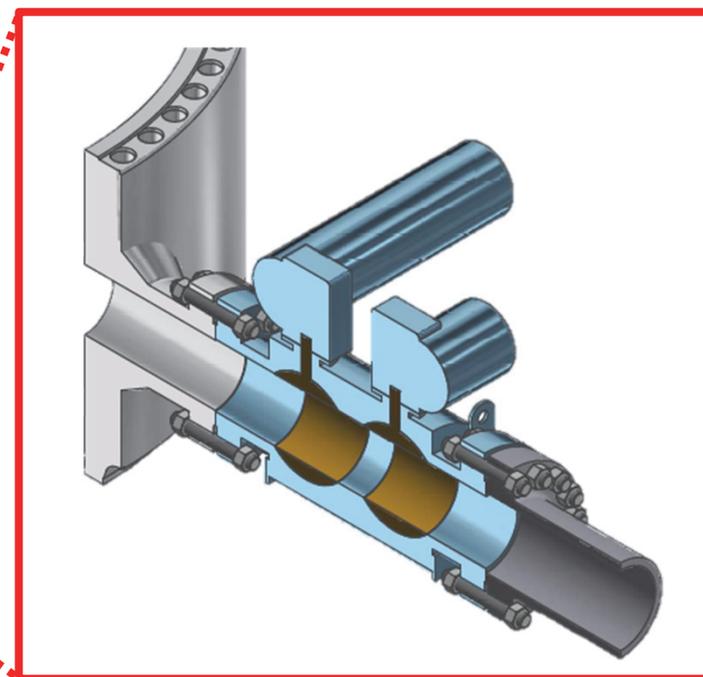
HITACHI



- 原子炉圧力容器(RPV)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徹底的に減少させる, 革新的概念を導入
- 二重化された隔離弁をRPVとフランジで接続。溶接部を無くすことで, 配管の大破断を回避。大破断LOCA発生個所を隔離弁より外側に限定



隔離弁一体型原子炉



隔離弁

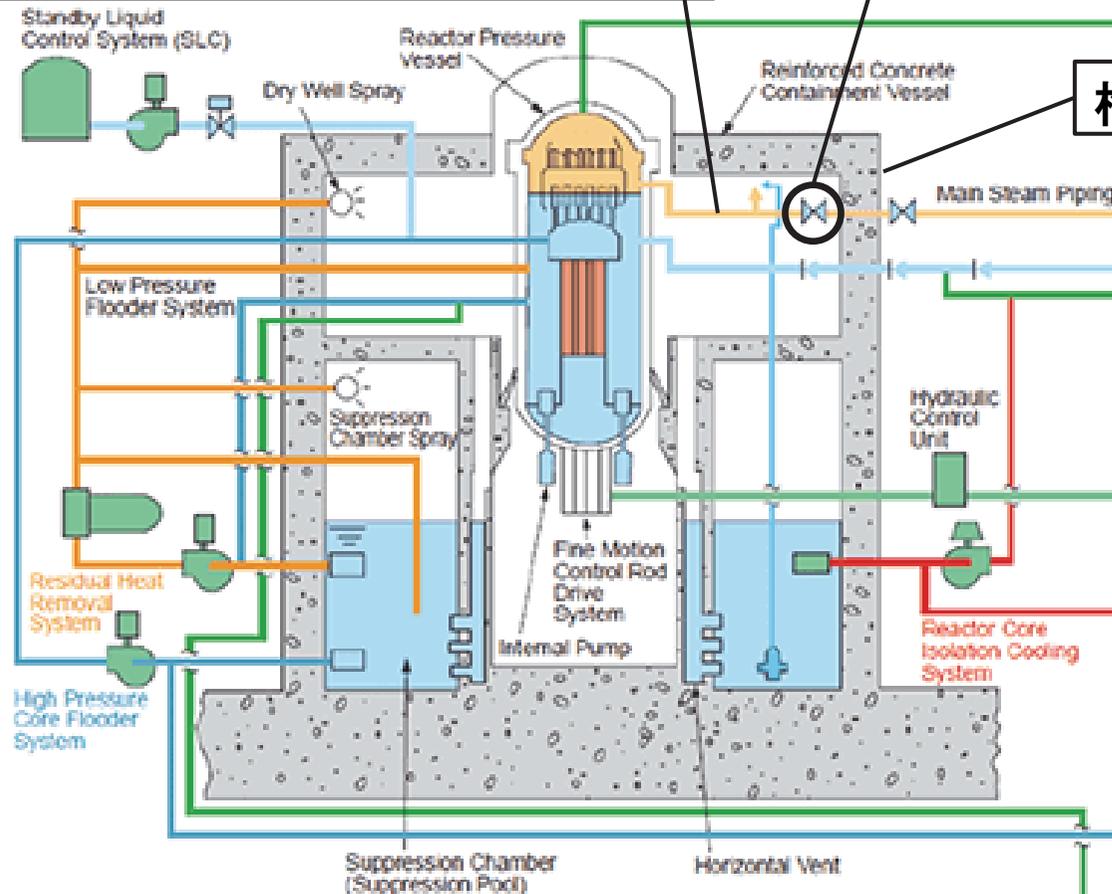
(参考) 従来ABWRの隔離弁位置

HITACHI



原子炉圧力容器-格納容器間の配管は溶接で接続されており、溶接部での破断想定が必要

従来の隔離弁は格納容器壁を挟むように壁近傍に設置



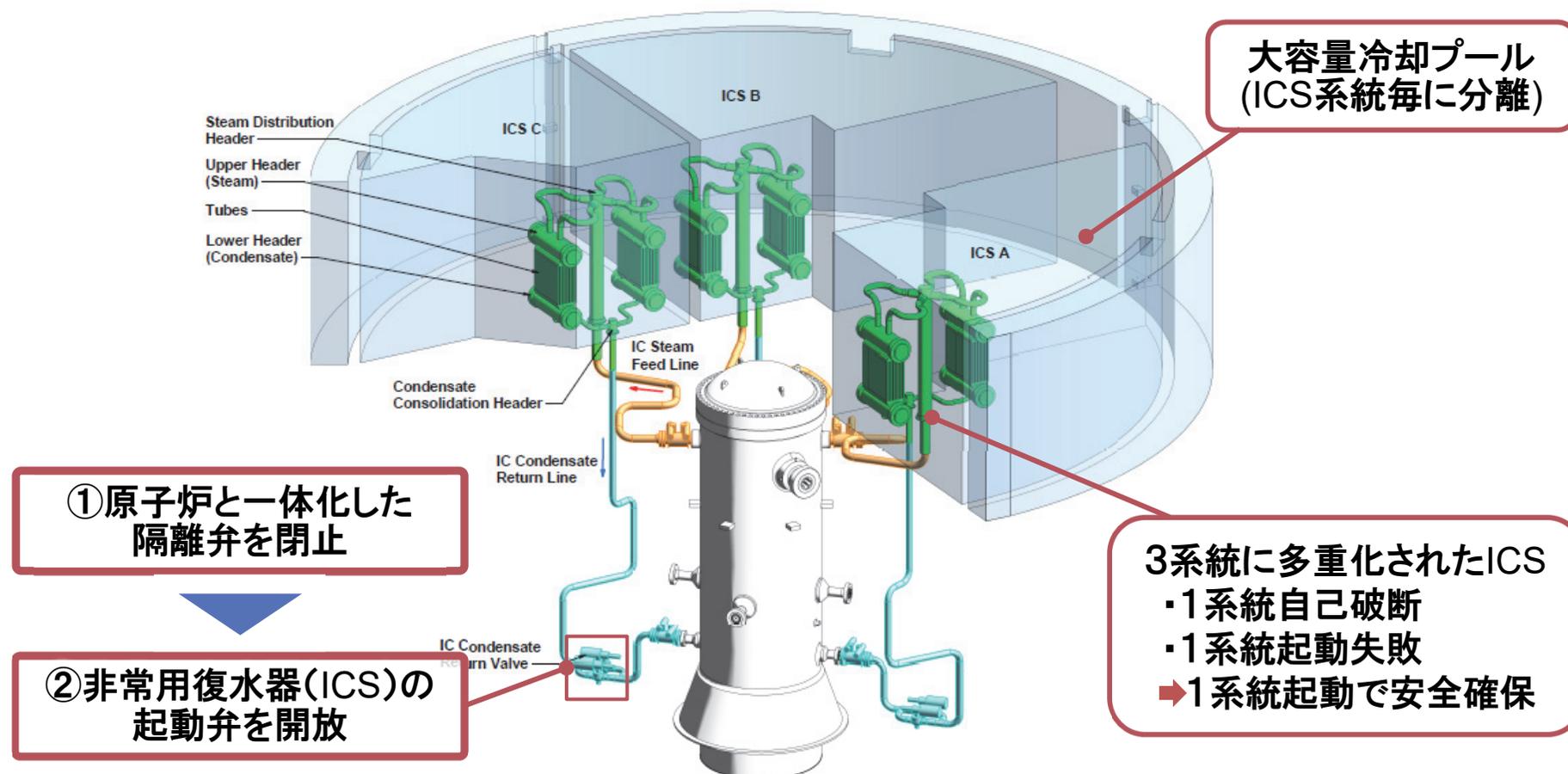
日立評論, Vol. 100, No.01
から図のみ抜粋

BWRX-300における事故収束方法

HITACHI

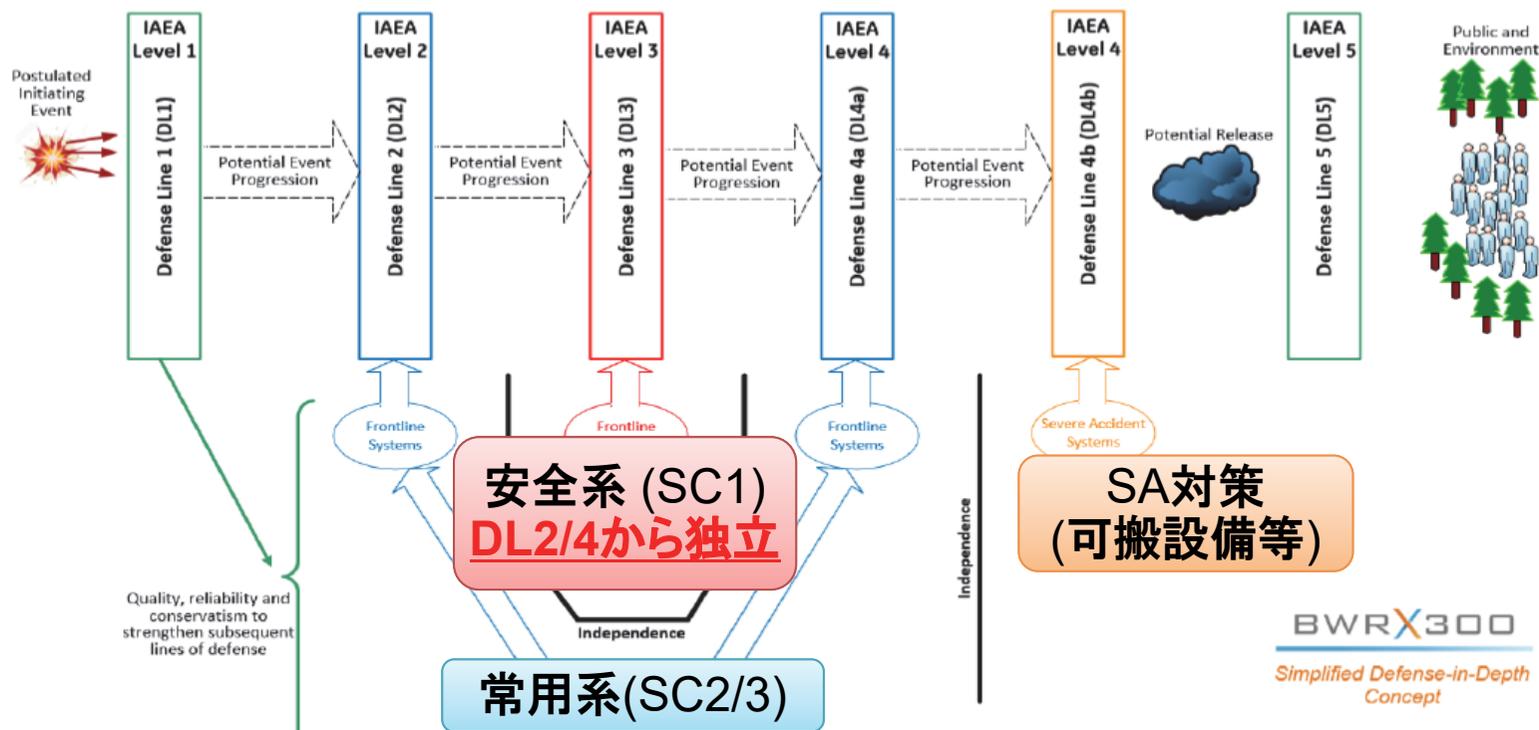


- 原子炉スクラム後，統一された簡素な2段階のプロセスで事故を収束
(①隔離弁閉止⇒②ICS起動弁開放)
- 3台あるICSの内，1台が起動に成功すれば崩壊熱除去，減圧が可能
- 大容量冷却プールにより外部動力・支援，運転員操作無しに7日間冷却維持



BWRX-300の深層防護設計

➤ IAEAの深層防護設計*に基づいた安全設計を実施し、合理的なSafety Class(SC)を設定



Defense Line	対応方針
1	異常発生防止（反応度制御，燃料冷却，長期除熱等の主要なFSF(Fundamental Safety Functions)）
2	発生した異常の進展防止（常用系 Safety Class 2/3システム・機器）
3	DL 2/4と独立したSafety Class 1システムによる設計基準事故の緩和・収束（非常用復水器(ICS, Isolation Condenser System)による原子炉冷却と除熱）
4a	炉心損傷の防止(DL 3とは独立したICS作動系の設置，常用系の活用等)
4b	格納容器損傷の防止(静的格納容器冷却系の設置等)



- カナダ、米国ともに建設決定・サイト決定前から規制局との議論を開始
- 特徴技術を事前に規制局と議論することで許認可リスクを低減。



カナダでのアクション

- 2019年から許認可申請前設計審査(VDR: Pre-Licensing Vendor Design Review)を開始
- VDRは許認可プロセスでは無いが、許認可で障害となる課題の抽出が可能
- 2021年12月にOPG社がDarlingtonサイトの新設プロジェクトにBWRX-300を選定したことを受け、2022年12月までに建設認可(LTC: License To Construct)を申請すべく準備中



米国でのアクション

- 2019年12月から許認可プロセス(LTR: Licensing Topical Report提出)を開始
- 設計認証(Design Certification, 10CFR Part 52プロセス)を取るのではなく、先行設計であるESBWRの設計認証をベースに、相違点についてLTRで認可を取る方針(最終的には従来型許認可プロセス 10CFR Part 50 で認可を取得)
- 2020年12月に主要概念である「隔離弁一体型原子炉」を含むLTRsを米国原子力規制局(NRC)が認可(現在までに主要な5件のLTRsが認可済み)

図書タイトル※	申請内容のポイント
NEDO-33910P, “BWRX-300 Reactor Pressure Vessel Isolation and Overpressure Protection”	<ul style="list-style-type: none"> • RPV過圧防護に関する設計要求事項とクライテリア・適合すべき規制要件を提案 • RPV過圧防護機能に関する詳細説明 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 原子炉保護系・隔離時凝縮系 (ICS) 設計要件 ✓ ESBWR等で採用していたRPV過圧防護設備削除の妥当性 ✓ 規制要求事項 (GDC) への適合性, 等
NEDO-33912P, “BWRX-300 Reactivity Control”	<ul style="list-style-type: none"> • 反応度制御に関する設計要求事項とクライテリア・適合すべき規制要件を提案 • 原子炉停止・反応度制御機能に関する詳細説明 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 原子炉停止系及び反応度制御機能の設計要件 ✓ 規制要求事項 (GDC) への適合性と適用除外の考え方, 等
NEDO-33911P, “BWRX-300 Containment Performance”	<ul style="list-style-type: none"> • 主として以下の3点に関するNRC承認を申請 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 格納容器設計として適合すべきGDCの具体的条項 ✓ 格納容器性能評価に関するクライテリア ✓ 解析手法の概要の承認 (TRACGでRPVからの流出量を計算, PCV温度圧力応答をGOTHICで計算. 手法の詳細は33922で申請)
NEDO-33922P, “BWRX-300 Containment Evaluation Method”	<ul style="list-style-type: none"> • 以下の3点に関するNRC承認を申請 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 破断口流出量評価に用いるTRACGコードの変更点 ✓ 格納容器圧力温度評価にGOTHICコードの適用方法 ✓ DBA/過渡変化/ATWSへの適用方法の妥当性
NEDO-33914, “BWRX-300 Advanced Civil Construction and Design Approach”	<ul style="list-style-type: none"> • 主に以下の2点に関するNRC承認を申請 <ul style="list-style-type: none"> ✓ サイト調査～掘削・地盤検査～建屋間基礎相互作用評価～各種設計解析評価手法～建屋設計のプロセスの流れと相互関係 ✓ 各プロセスにおける適用手法とクライテリア

※ NEDOで始まる図書番号は公開版図書の番号を記載

BWRX-300の基本概念に関するLTR※

HITACHI



※ LTR: Licensing Topical Report

- 隔離弁一体型原子炉の概念と非常用復水器(ICS)による過圧防護について NEDO-33910PでLTRを申請し認可を取得

Title	BWRX-300 Reactor Pressure Vessel Isolation and Overpressure Protection
概要	<p>以下について説明</p> <ul style="list-style-type: none">• 原子炉圧力容器 (RPV) にRPV隔離弁を直付けすることでLOCAリスクを低減 (<u>LOCAは隔離弁閉止までの短期の事象</u>)• 配管破断による崩壊熱の除去を目的とした、ICS自動起動およびRPV隔離弁に関するクライテリアと設計要求• 過圧防護に関する原子炉保護系およびICSの設計要求 (<u>ICSで過圧防護が可能であり、安全弁の設置は必須では無い</u>)
NRC 指摘事項	<ul style="list-style-type: none">• RPV隔離および過圧保護機能における設計要求、合格基準、規制基盤について妥当とし認可• 最終設計の適合性については、今後の認可取得活動の中で評価

青字・下線での記載項目は国内規制適合性で課題となる可能性有り



■ 米国NRC/カナダCNSC 協力協定を締結

- 2019年8月にSMR/革新炉の安全審査における連携強化のため協定を締結
- (両国の規制局内に)SMR/革新炉の委員会(Sub committee)を設立
- 技術審査において協力(collaboration)する
- BWRX-300の格納容器性能評価LTRに関するJoint Review Reportを公表
<https://www.nrc.gov/docs/ML2209/ML22091A201.pdf> (22年4月)
- BWRX-300の審査において重複レビューの削減や規制バックチェック解析の共有、共同レビューの推進/審査結果の相互承認等、さらに協働を深化する方向 (22年10月)

■ 英国ONR/カナダCNSC 協力協定を締結

- 2020年10月にSMRの安全審査における連携強化を図るため協定を締結
<http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/news-room/feature-articles/mou-moc-uk-nuclear-regulator.cfm>
- 本協定により、規制の効率化に向けた二国間の関係を強化するため、規制審査に関わる知見・教訓(Lessons & Learned)を共有する
- トレーニング計画、開発活動に関する情報も共有する

■ 各国規制局の連携は世界への拡販時の許認可リスク低減の観点で重要



【新型炉全般に関わる論点】

- 新たな概念の国内規制適合性をいつの段階で評価可能か？
 - 国内で審査を受けるには具体的な建設計画が必要
 - 電気事業者が建設を決定するには規制適合見通しが必要
- 海外で実績のある安全システムについて、国際的な規制局連携等により、規制リスクを削減できないか？
- 設計当初から過酷事故やハザード対策を考慮した新たな原子炉に対して「重大事故等対処設備」等の要求は緩和されるか？



【BWRX-300 または小型炉特有の論点】

- BWRX-300のLOCAは非常に短期の事象であり、注水設備は不要(概念はNRC認可済み)。
- 米国規制では過圧防護機能があれば良く(非常用復水器で減圧が担保できれば良い)、安全弁は必須では無い。
- IAEA基準の深層防護設計ではDL 4a層で常用系のクレジットを取ることが認められている。
- 米国では先進小型炉の特性(高い安全性、炉内放射性物質量少)から、緊急時計画範囲(EPZ: Emergency Planning Zone)縮小のための評価方法が認可された。

- 日立GEは、米国姉妹会社であるGE日立と共同で小型軽水炉 BWRX-300 の開発を進めている。
- BWRX-300の安全設備は以下の特長を持つ。
 - ・“シンプルなシステム”で、高い安全性・信頼性と、経済性を両立。
 - ・革新的な隔離弁一体型原子炉の採用により、冷却材喪失事故の影響を緩和。
 - ・静的安全系を用い、統一された簡素な手順で事故・過渡事象を収束。
- カナダ、米国の規制局と、建設決定・サイト決定前から議論開始。
 - ・カナダでは、2019年から許認可申請前設計審査を開始。2022年12月までに建設認可を申請すべく準備中。
 - ・米国では、2019年からLTRs※の提出を開始。主要概念「隔離弁一体型原子炉」を含む5件のLTRsが認可済み。 ※ Licensing Topical Reports
 - ・特徴技術を事前に規制局と議論することで許認可リスクを低減。
- BWRX-300の国内規制適合性に関する論点を整理

HITACHI



END

小型軽水炉 BWRX-300

2022年 10月 29日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社
原子力計画部 木藤 和明