
SMR等革新炉の安全と安全規制について—今後の取組—

海外で検討が進んでいる革新炉の安全設計の特徴等について (事例紹介:BWRX-300)

2021年1月19日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

© Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. 2021. All rights reserved.

Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. Proprietary Information

目次

1. 日立の原子力ビジョン
2. 原子力発電を取り巻く環境と課題解決を目指した開発
3. BWRX-300の特長



BWRX300

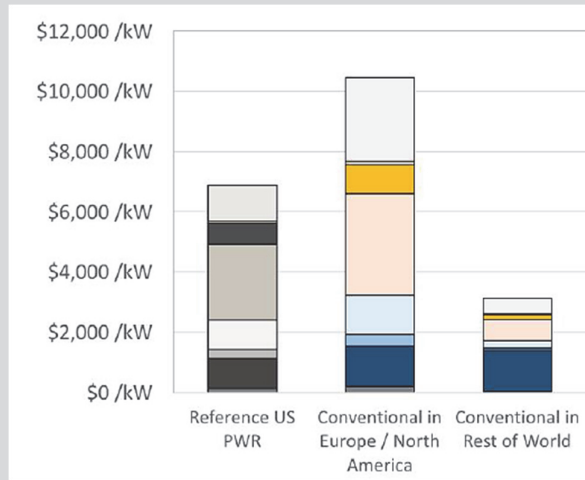
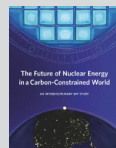
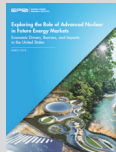
原子力発電の初期投資に関するコスト低減

第5次エネルギー基本計画(日本)
安全性・経済性・機動性に優れた炉の追求

Nuclear Sector Deal (UK)
産業界は2030年までに新設プロジェクトコストを30%低減

EPRI (米)
原子力発電所の競争力水準：
\$2000 ~ 3000/kWe

MIT (米)
原子力発電所の競争力水準：
< \$2500/kWe

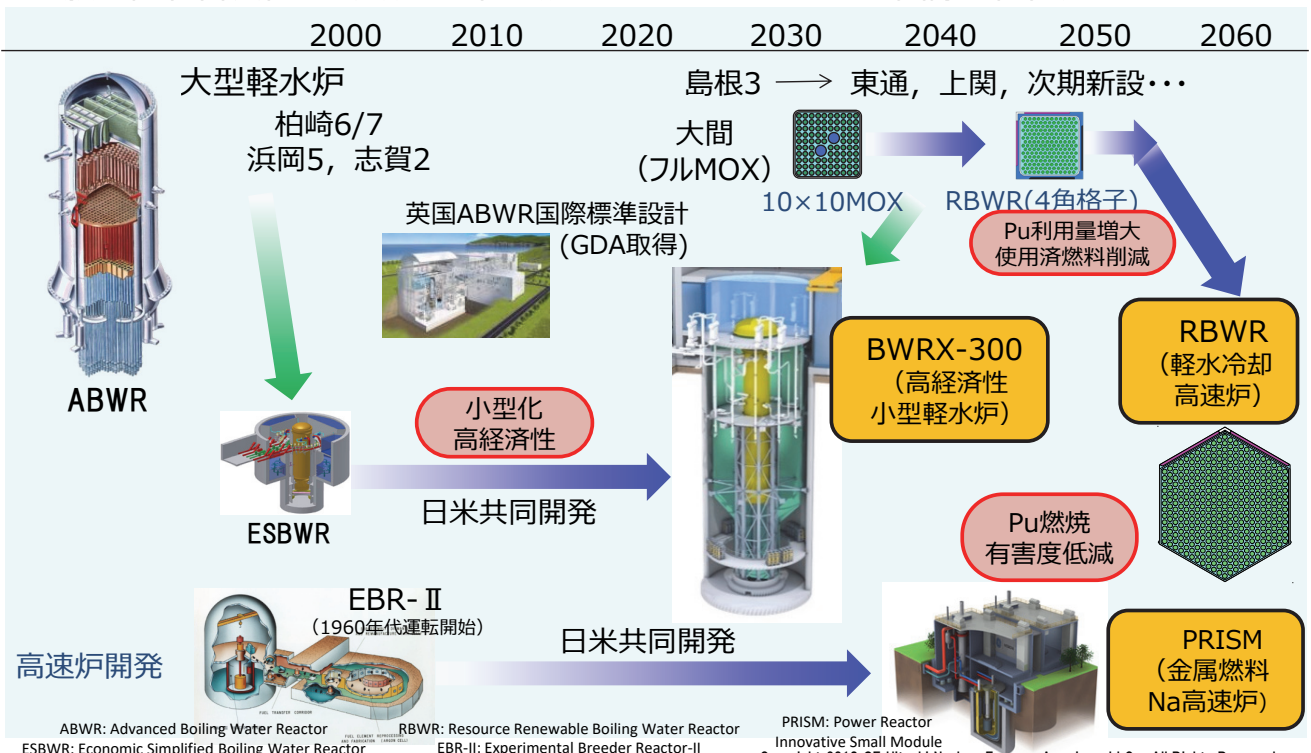


初期資本コスト(実績)の比較

Ref. Kirsty Gorgan, "The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Summary Report", April 20, 2018.より

1-2 日立の原子力ビジョンと開発戦略

➤ BWR建設経験と燃料サイクル技術を元に、初期投資リスク低減、長期的な安定電源、放射能有害度低減を実現する新型炉をオープンイノベーションで国際共同開発



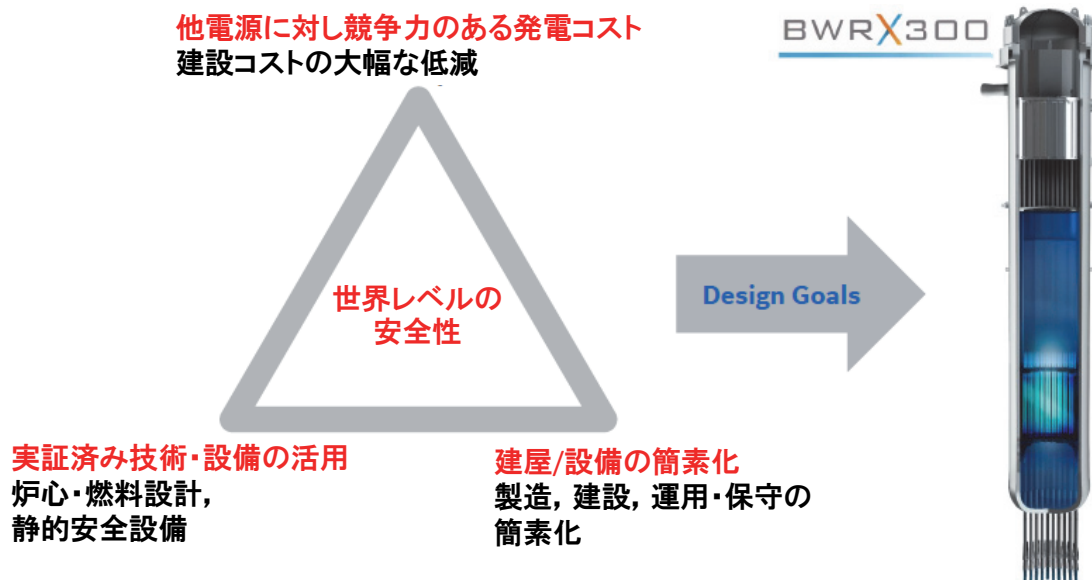
- 1. 日立の原子力ビジョン
- 2. 原子力発電を取り巻く環境と課題解決を目指した開発
- 3. BWRX-300の特長



BWRX300

2-2 BWRX-300の開発目標

- 実証済み技術/設備を最大限に活用し、世界レベルの安全性と高い経済性を実現



➤ 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

- 第10世代BWR
- 300MWe級SMR (Small Module Reactor)
- “Design to Cost”の概念
 - 一次冷却材圧力バウンダリの高信頼性化によるLOCAの排除(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
- 世界標準の安全性、実証済み技術の採用、充実した燃料及び機器供給網

BWRX300



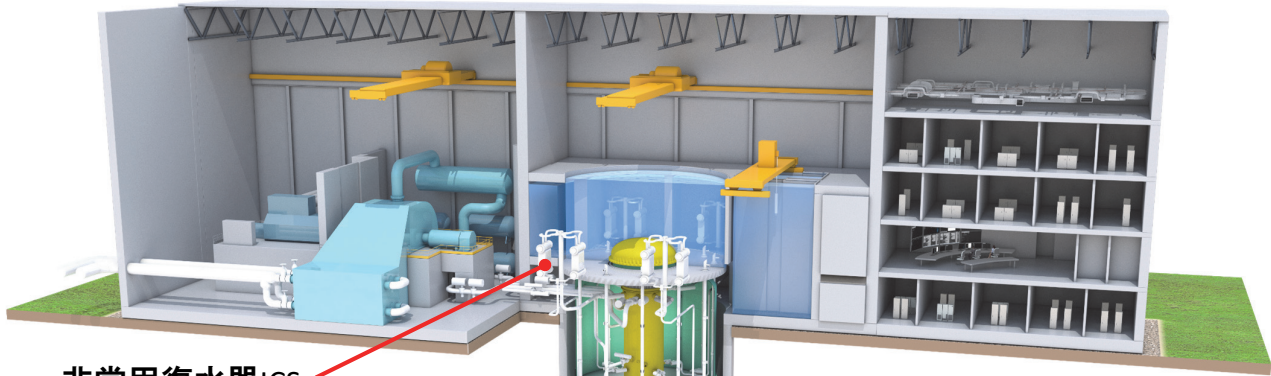
高い安全性と経済性の両立を目指した設計

1. 日立の原子力ビジョン
2. 原子力発電を取り巻く環境と課題解決を目指した開発
3. BWRX-300の特長

BWRX300



- ✓ 電気出力300MW級小型炉 (Gen III+ SMR)
- ✓ 革新的安全技術と実証済み技術の融合で優れた炉概念を実現



非常用復水器ICS
(Isolation Condenser System)

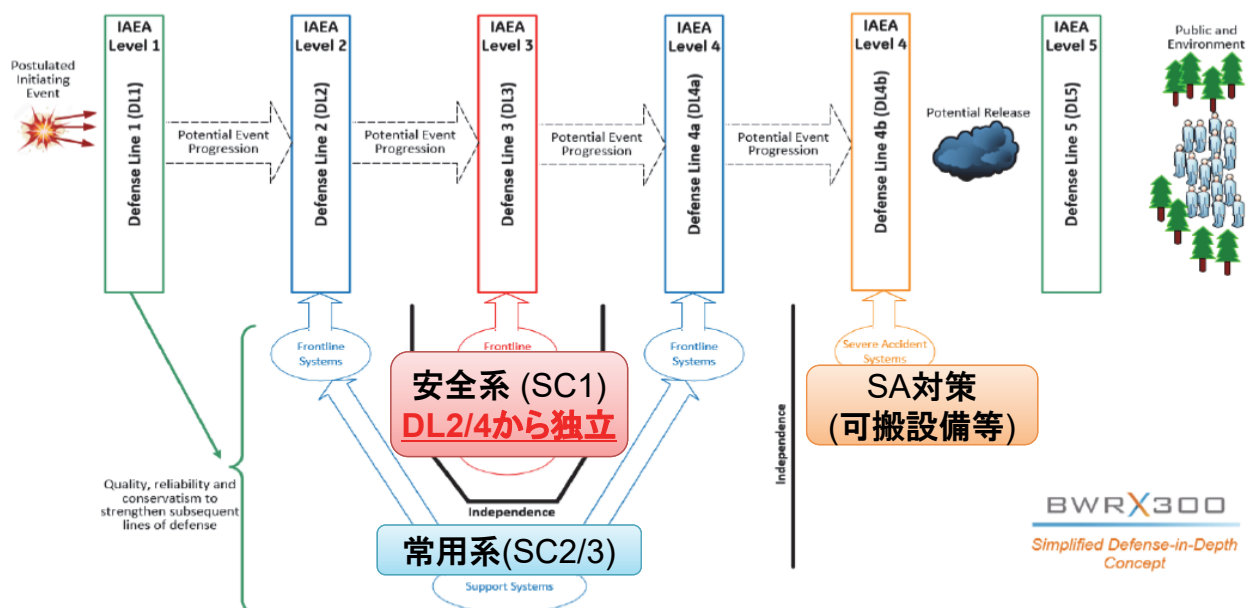
- 一次冷却材圧力バウンダリを高信頼化し、冷却材喪失事故(LOCA)の発生確率を徹底的に低減
- 設計基準事故からLOCAを排除し、静的安全系であるICSのみで事象を収束
- 地下設置型の配置を採用することで、外部ハザード、テロに対する安全性とセキュリティを向上

© Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. 2021. All rights reserved.

Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. Proprietary Information

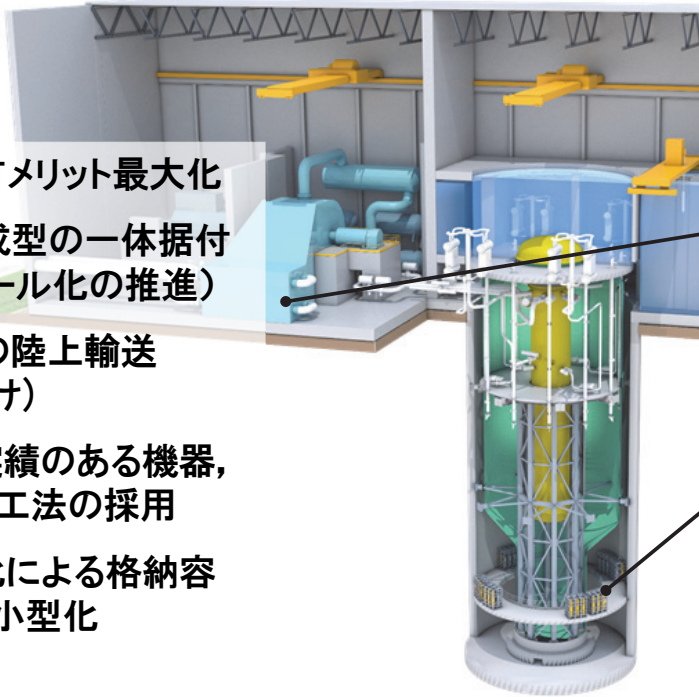
3-2 深層防護設計 (DiD)

- Defense in Depth Concept (based on IAEA SSR-2/1) に従い、合理的な Safety Classを設定



➤ ABWR建設で培ったモジュール設計技術を小型炉設計に活用し、建設費・工期の大幅な低減を目指す

- 小型炉特有メリット最大化
 - 工場完成型の一体据付 (モジュール化の推進)
 - 小型炉の陸上輸送 (内陸向け)
- 他産業で実績のある機器、製造技術、工法の採用
- 設備合理化による格納容器/建屋の小型化



工場完成型の一体据付への取り組み例

ABWRの高圧ドレンポンプ配管・弁室モジュール



ABWRの水圧制御ユニット室モジュール



小型炉の特性を活かしモジュール化をさらに推進

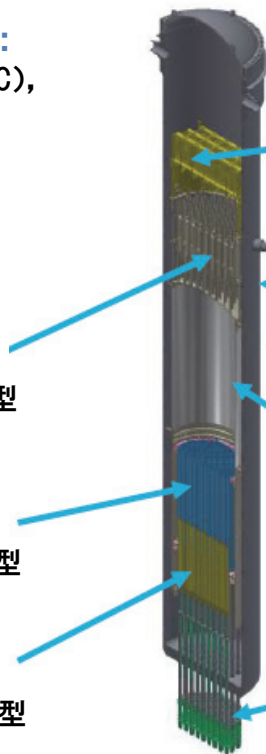
3-4 原子炉周りの実証済み技術

ESBWR技術/許認可実績:
自然循環, 非常用復水器(IC),
規格基準への適合性等

気水分離器:
ABWR, ESBWRと同型

GNF2燃料:
ABWR, ESBWRと同型

制御棒:
ABWRと同型



蒸気乾燥器:
ABWR, ESBWRと同型

RPV:
ABWR, ESBWRと同じ材料,
製造方法

チムニー:
ESBWRやDodewaardの技術
を採用し, さらに簡素化

FMCRD:
ABWR, ESBWRと同型

● 2020年1月発表: BWRX-300の米国許認可取得プロセスを開始

Jan 30, 2020

WILMINGTON, North Carolina—January 30, 2020— GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) today announced that it has officially begun the regulatory licensing process for its BWRX-300 small modular reactor.

On December 30, 2019 the company submitted the first licensing topical report (LTR) for the BWRX-300 to the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC). GEH expects such LTRs to serve as a foundation for the development of a Preliminary Safety Analysis Report that could potentially be submitted to the NRC by a utility customer.

(後略)

出典) <https://www.genewsroom.com/press-releases/ge-hitachi-nuclear-energy-begins-nrc-licensing-process-bwrx-300-small-modular>

● 2020年12月発表: LOCA排除の基本概念に関する許認可図書の米国原子力規制局 (NRC) 認可を取得

GE Hitachi Nuclear Energy BWRX-300 Small Modular Reactor Achieves U.S. Licensing Milestone

Dec 1, 2020

WILMINGTON, North Carolina—December 1, 2020—GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) today announced that the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) has issued a Final Safety Evaluation Report for the first of several licensing topical reports (LTRs) that have been submitted for the BWRX-300 small modular reactor (SMR). The LTR, which was submitted to the NRC in December 2019, forms the basis for the dramatic simplification of the BWRX-300.

(後略)

出典) <https://www.ge.com/news/press-releases/ge-hitachi-nuclear-energy-bwrx-300-small-modular-reactor-achieves-us-licensing>

提出済みのLicensing Topical Reports (LTRs)

- 既に下記の4件を提出済みで、1件目は11月18日付で承認
- 残る3件についても審査は順調に進展し、ACRSレビュー段階に移行中

図書タイトル	申請内容のポイント	審査状況
NEDC-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 	認可済
NEDC-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 	ACRS 審査中
NEDC-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) 	ACRS 審査中
NEDC-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 	技術 審査中

- BWRX-300のキーとなる概念であるLOCA想定不要化は、最初のLTR “RPV Isolation and Overpressure Protection” として2019年12月にNRCに提出され、審査を受け、ACRS審査を経て2020年11月18日に認可
- 実質的な最終審議である、ACRS Subcommittee(7月20日)での主な結論は以下。
 - ✓ RPVに隔離弁をフランジ接続で直付けすることでLOCAを排除する概念の理解を得た。
 - ✓ ICSとRPV隔離弁でLOCA時に炉心冷却可能との理解を得た(ECCS削除可)。
 - ✓ ICSにて過圧防護を確保できるとの理解を得た(安全弁削除可)。

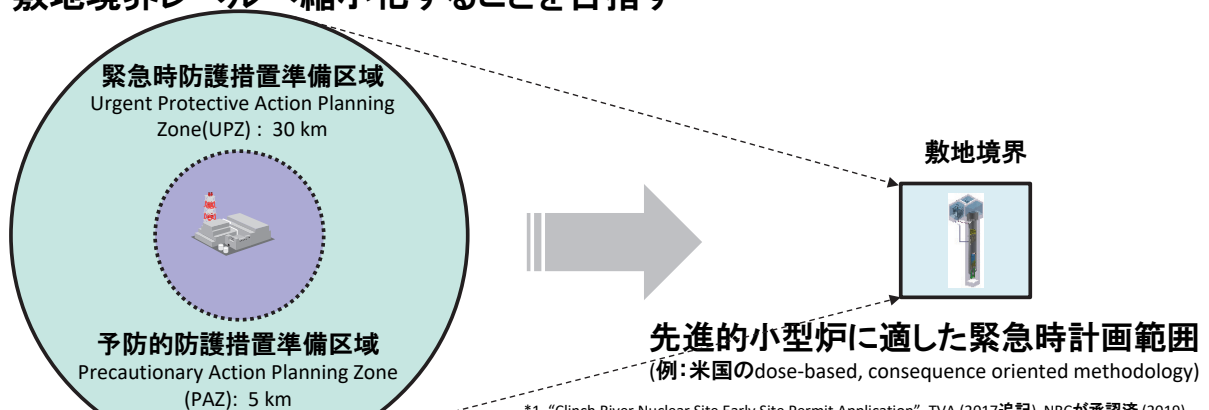
【国内導入時に考慮すべき項目】

- 米国規制では安全弁は必須では無い(同等の過圧防護機能があれば良い)が、国内規制では安全弁の代替機器に関する明確な記載が無く、安全弁の設置が必要となる可能性がある。
- 米国規制でもECCSが要求されているが、NRCはICSと隔離弁で代替可と理解を示した。国内導入時も規制チャレンジの項目となる。

ACRS: Advisory Committee on Reactor Safeguards, ECCS: 非常用炉心冷却設備, ICS: 非常用復水器, LOCA: 冷却材喪失事故, LTR: Licensing Topical Report, RPV: 原子炉圧力容器

3-7 社会的受容性向上 (EPZ縮小) の課題

- 米TVA*1・DOE*2, IAEA*3は、小型炉特有の特性からEPZの縮小を分析中
 - 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
 - 先進的小型炉の安全特性(例:電源喪失時7日間の炉心冷却維持)による緊急時計画の設定
 - TVAのClinch Riverサイトの例では、FP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を定めている
- 国際的なアプローチ, プラント安全性を基に、緊急時防護措置準備区域の敷地境界レベルへ縮小化することを目指す



発電炉(日本)

*1. "Clinch River Nuclear Site Early Site Permit Application", TVA (2017追記), NRCが承認済 (2019)
 *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)

➤ ARDP Demosでは非軽水炉である、X-energy社の高温ガス炉Xe-100, TerraPower社のNa冷却高速炉Natriumの2炉型が選定された。これらの炉型と軽水炉型小型炉との比較を以下に示す。

ARDP Demos選定炉の軽水炉型小型炉と比較したメリット/デメリット

炉型	Xe-100(高温ガス炉)	Natrium(Na冷却高速炉)
<ul style="list-style-type: none"> 革新性 7年以内の運転開始 	<ul style="list-style-type: none"> 軽水炉とは異なる革新的な設計概念を有する 成熟した技術を用いる軽水炉に対し、早期導入のハードルは高いと考える 	
<ul style="list-style-type: none"> フレキシビリティ, 負荷追従性 	<ul style="list-style-type: none"> 水素製造を含む高温熱利用に利点有り 炉心の熱容量が大きく, 炉本体の負荷追従性は低いと推測 	<ul style="list-style-type: none"> 高温熱利用に利点有り 熱貯蔵システムを活用した高い負荷追従性が大きな利点

- DOE長官の会見などから、炉型選定のポイントは以下と推測。
- 革新的な設計であり、市場にとって新しい炉であること
 - 7年以内に運転を開始できること
 - 再生可能エネルギーを補完でき、フレキシビリティ、負荷追従性に優れること

まとめ

- 高経済性小型軽水炉BWRX-300の開発により、高い安全性と経済性、立地の自由度向上という社会的要求を実現
- 日立GEと米国姉妹会社であるGE日立とで協調し、オープンイノベーションを活用した日米連携で開発
- BWRX-300のターゲットは、世界レベルの安全性と最も経済的な軽水炉の実現であり、BWRの特長であるシンプルな構成を更に簡素化することで、これを達成する