

安全性・経済性を高めた次世代原子力プラントの開発設計

2021年9月15日
株式会社 日立製作所 執行役常務
原子力ビジネスユニット CEO
久米 正

1. 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。

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年運転を推進。



カーボンニュートラル (CN)

- パリ協定に基づき、120以上の国と地域が2050年CNを宣言。
- 再生可能エネルギーの大規模導入を計画。

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。
- 水素製造等、電源以外の利用を目的とした革新炉の開発も進行中。

将来の環境変化に対応した原子力の役割に応じた準備が必要

2. カーボンニュートラル(CN)に向けた原子力の貢献

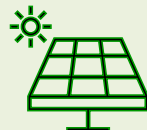
原子力活用による脱炭素、産業貢献で社会的受容性を向上

①電力部門の脱炭素化

- ・再エネ大量導入に適應
- ・レジリエンス向上



石炭火力の
代替電源



調整力供給
(負荷追従)



系統安定性確保
(慣性力)

②非電力部門脱炭素化

- ・エネルギー転換に適應



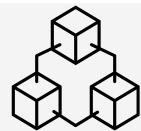
熱源の民生
向け利用



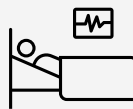
水素製造
(熱、電気)

③産業・医療への貢献

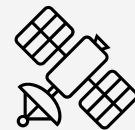
- ・国民生活基盤維持他



国内技術,人財,
SC育成



産業・医療用
RI製造・中性子利用



宇宙産業の
動力に利用

社会的受容性向上に向けた取組み

既存炉



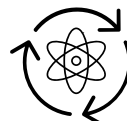
- ・安全対策工事完遂
- ・継続的な安全性向上

新設炉



- ・社会に受け入れられる性能目標設定
- ・革新的技術開発

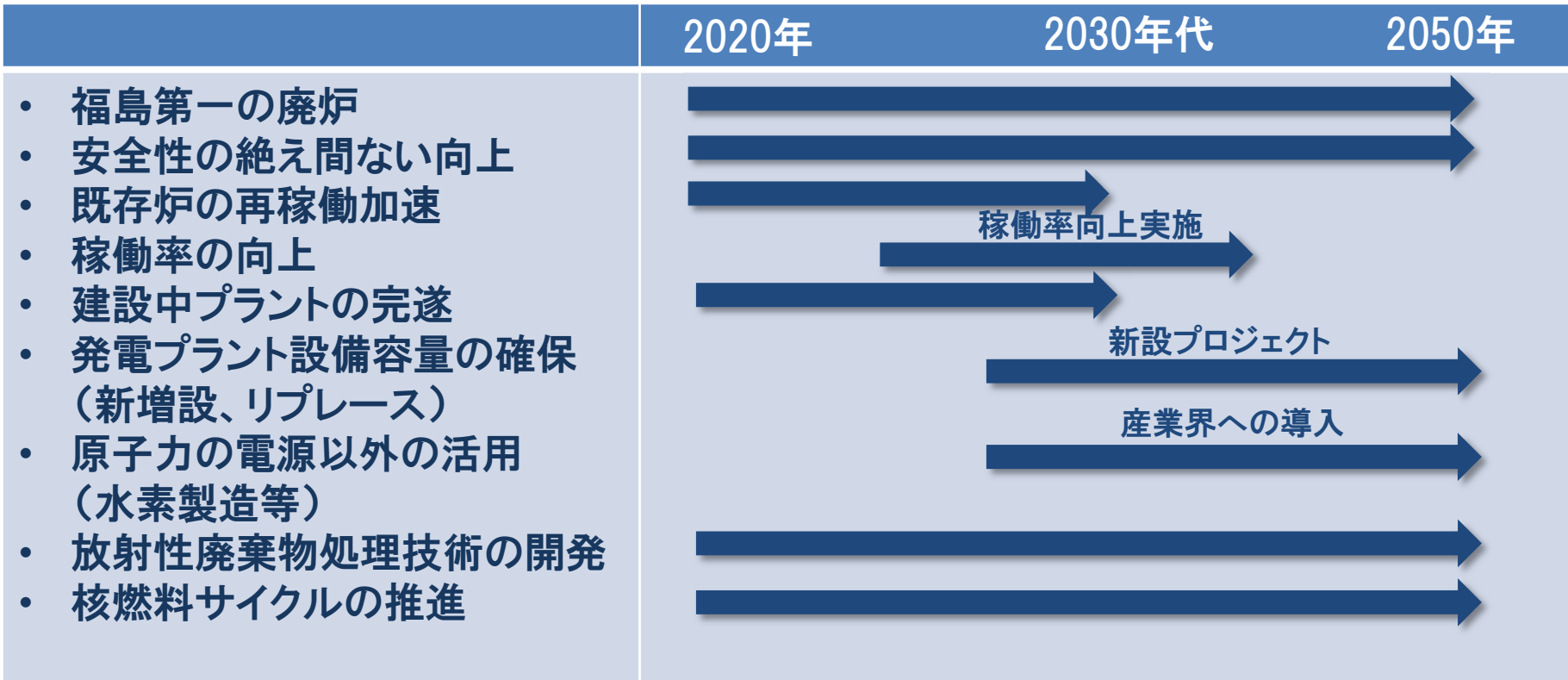
燃料サイクル



- ・Puの利活用
- ・最終処分廃棄物減容

2. カーボンニュートラル(CN)に向けた原子力の貢献

第6次エネルギー基本計画に対する産業界の重要な活動



3. カーボンニュートラル (CN) に向けた日立の炉型開発

社会的 / 電力会社様のニーズに貢献できる炉型の選択

ABWR
1350MW級
(既存技術)

大型炉

- 国際標準設計採用
- 日本規制要求採用

- 高い電気出力
- ベースロード電源
- 更なる安全性向上

↑ ↓ 多様な選択肢

小型
モジュール炉



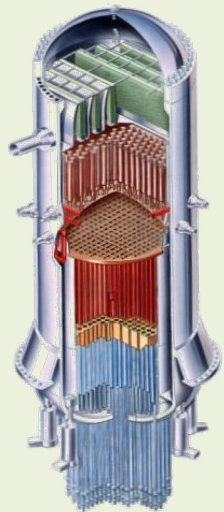
- 既存技術をベース
- 革新的技術採用
- 静的安全性導入

- 小さい敷地面積
- 再生エネとの共存
- 初期投資の低減

燃料サイクル

- プルサーマル推進 / 高度化
- 高速炉開発 (日米協力)

- Puの利活用
- 使用済燃料削減
- 長半減期核種削減



4. 日立の国内ABWR建設実績と今後の建設

2000

2010

2020

2030

2040

2050

2060

大型軽水炉

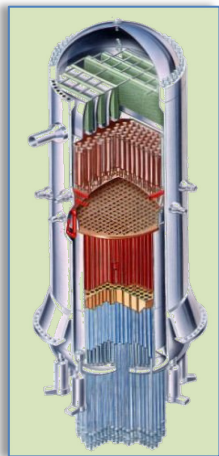
柏崎6/7

浜岡5, 志賀2

島根3

大間1

→ 東通, 上関, 次期新設...



ABWR

● 運転プラント



● 東京電力(株) 柏崎刈羽原子力発電所第6/7号機 (共同建設) (1996/1997)



● 中部電力(株) 浜岡原子力発電所第5号機 (2005) (タービン設備)



● 北陸電力(株) 志賀原子力発電所第2号機 (2006) (原子炉・タービン設備)



ABWR国際標準設計 (英国GDA取得)

● 建設・準備中プラント



● 中国電力(株) 島根原子力発電所第3号機 (原子炉・タービン設備)



● 電源開発(株) 大間原子力発電所第1号機 (原子炉設備)



● 東京電力(株) 東通原子力発電所1号機 (共同建設)

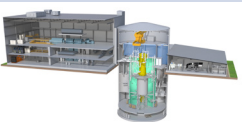
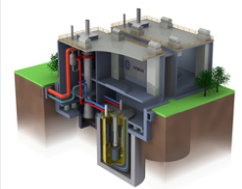

更なる改善・安全性向上の継続

● 福島事故対策ならびに欧州における規制要求を満たす設計改良を実施した、ABWR国際標準設計を構築。

- 過酷事故対策
- 専用建屋からの代替注水・電源供給
- 航空機衝突対策としての原子炉建屋強化、制御建屋を防御する建屋配置
- 区分分離配置による
- 安全系のN+2化(必要系統数+2)

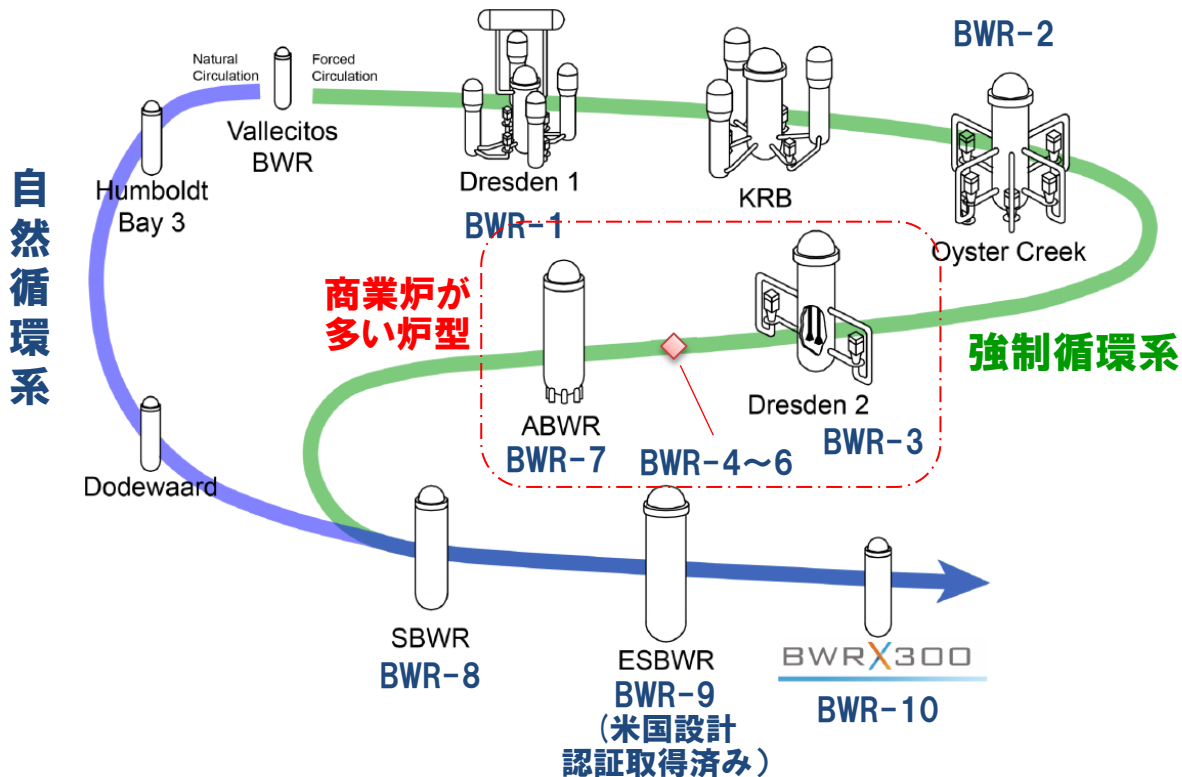
6. 日立が取り組む新型炉の目的と特徴

原子力発電のみならず燃料サイクルを意識した開発を推進

原子炉名	炉型	開発の狙い
 <p>BWRX-300 (電気出力 300MW級)</p>	<p>小型沸騰水型 軽水炉</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 静的安全性の適用 ■ 簡素なシステムで安全性と経済性を両立 ■ 小型であり既存プラントのリプレースが可能 ■ 国民への負担を縮小化 (米国EPZゼロ化)
 <p>PRISM (電気出力 311MW) Power Reactor Innovative Small Module</p>	<p>小型ナトリウム 冷却高速炉</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 金属燃料と静的安全システムの採用 ■ 米国で開発されたNa冷却高速炉がベース ■ 日米協力による開発体制の構築を目指す
 <p>RBWR Resource- renewable BWR</p>	<p>軽水冷却高速炉</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ MOXの後継でプルトニウム燃焼/長半減期核種削減 ■ 当面は既設軽水炉を活用した四角格子燃料の開発に重点

7. 小型軽水炉：BWRX-300の概要と特徴

技術革新 / 社会的ニーズに応じたBWR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
- 燃料性能の技術革新
- 自然循環系、静的安全系の採用

7. 小型軽水炉：BWRX-300の概要と特徴

安全性・経済性・建設性・柔軟性に優れた小型軽水炉

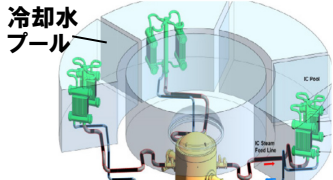
革新的安全システム

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



隔離弁一体型
原子炉



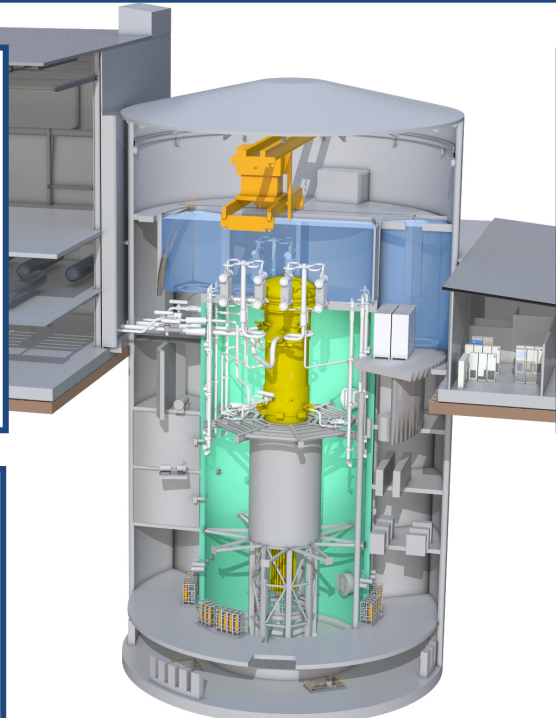
自然循環力による
崩壊熱除去システム

短く確実な建設

国内実績のあるモジュール工法採用



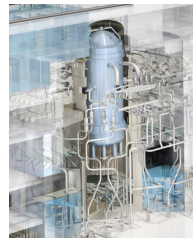
ABWRの高圧
ドレンポンプ
配管・弁室
モジュール



カナダ電力OPGが2028年運転開始を
目指し検討中

優れた経済性

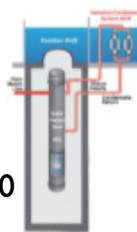
革新的安全システム導入による
システム単純化→物量大幅低減



ABWR

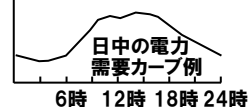


BWRX-300



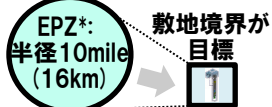
柔軟性

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



低い事故確率が
導くEPZ縮小*

*北米の例 EPZ: Emergency Planning Zone

7. 小型軽水炉:BWRX-300の概要と特徴

◆ 高い安全性

- 原子炉の**主要な事故事象**である冷却材喪失事故(LOCA)を**実質的に排除可能**
- 配管破断事故発生時も原子炉圧力容器と一体化した**隔離弁を閉じるだけで事象を収束**
- 外部支援・運転員操作が不要な静的安全系採用により**ヒューマンエラーを低減**



SMRの特長:

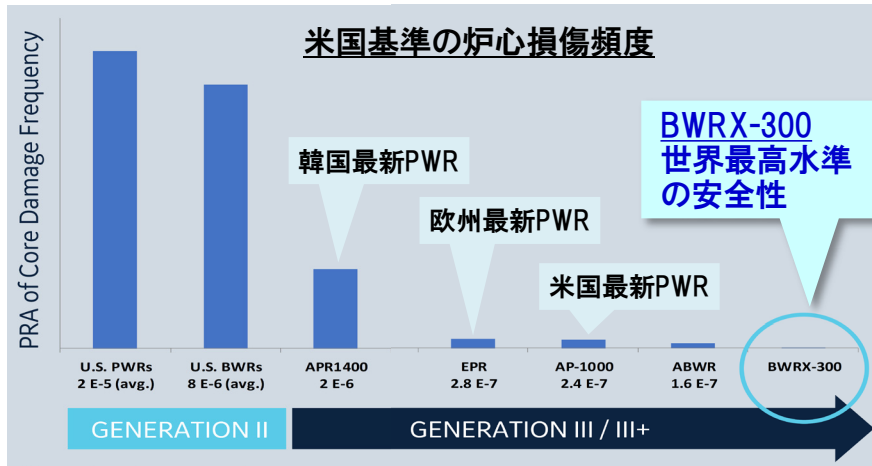
出力が小さく炉内の放射性物質が少ない

-更なる安全性向上策

- ✓ 希ガスフィルタ: 住民被ばくリスクの低減
- ✓ 事故耐性燃料: 燃料損傷リスクの低減

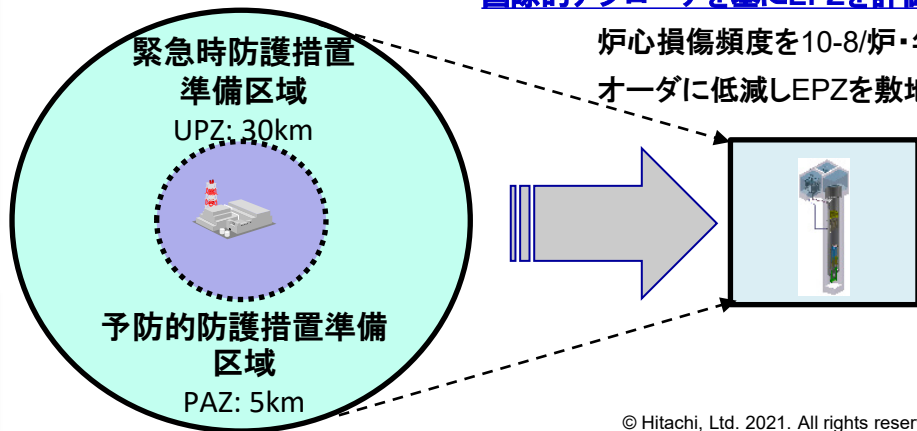


- **緊急時計画範囲(EPZ)を実質的に敷地境界以内にする** -



国際的アプローチを基にEPZを評価

炉心損傷頻度を10-8/炉・年
オーダーに低減しEPZを敷地内化



7. 小型軽水炉：BWRX-300の概要と特徴

プロジェクト進捗状況

▶カナダ・オンタリオ州における建設炉の候補として選定



- ・オンタリオ州営電力会社のOntario Power Generation(OPG)社は、2028年のSMR運転開始を目指し、開発メーカー3社を選定
- ⇒ BWRX-300はその一つとして選定されている

▶カナダでの許認可手続き



- ・カナダ規制当局は、実際の建設許認可に先立ち事前に炉型を評価するプロセス（ベンダー設計審査：VDR）を構築
- ・SMR開発各社が申請・審査中で、BWRX-300も2019年から開始

▶アメリカでの許認可手続き



- ・BWRX-300は、既に認可されているESBWRの設計認証をベースとしており、ESBWRからの変更点をLicensing Topical Report(LTR)として提出し、米国規制当局が審査
- ・既にBWRX-300の基本コンセプトとして重要な3件のLTRが承認済み

*ESBWR: Economic Simplified BWR

8. 燃料サイクルに貢献する新型炉の開発

Na型高速炉開発と軽水炉を活用した更なる使用済燃料削減の併用

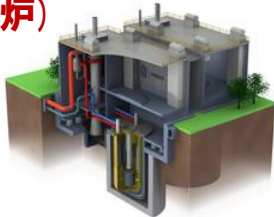
	現在から2050年まで	2050年以降の将来
課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 運転継続に向けた使用済燃料削減 ■ 日米協定によるプルトニウムの削減 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 使用済みMOX燃料の蓄積 ■ 長半減期核種の削減
具体的対策	<ul style="list-style-type: none"> ■ プルサーマルの本格的な導入 ■ 更なるプルサーマルの高度化 ■ プルサーマル推進に向けた国の支援 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Na型高速炉本格導入に向けた開発 ■ (Na型高速炉バックアッププラン)

■ 新たな技術提案のコンセプト

PRISM(金属燃料Na冷却高速炉)

【特徴】

- 小型炉, 受動的安全系により初期投資削減
- コンパクトな燃料サイクルを実現する金属燃料の採用とIFRへの展開



Copyright 2018 GE Hitachi Nuclear Energy -Americas. LLC - All Rights Reserved

IFR: Integral Fast Reactor

RBWR(軽水冷却高速炉)

【特徴】

- 既存BWRを活用可能。炉心燃料技術で実現
- プルサーマルを高度化し、再利用に適した使用済み MOX燃料の組成で温存



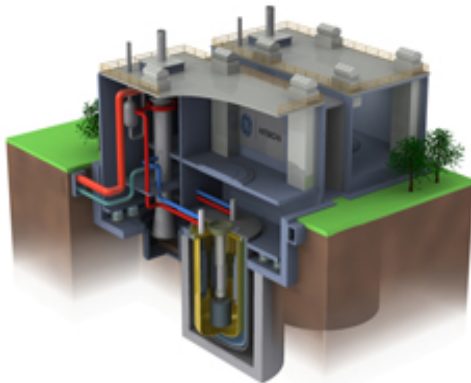
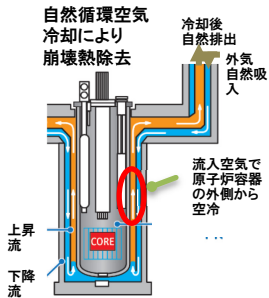
© Hitachi, Ltd. 2021. All rights reserved.

8. 燃料サイクルに貢献する新型炉の開発

革新的小型ナトリウム冷却高速炉PRISM

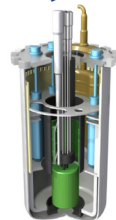
革新的安全システム

- 受動的な崩壊熱除去
- 異常時の出力抑制可能な金属燃料



優れた経済性と建設性

システム単純化、小型モジュール化による工期削減



原子炉容器

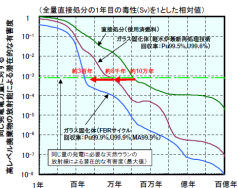
原子炉容器内に機器を収納

- 熱交換器
- ポンプ
- 一次系配管削除

長半減期核種低減

高速中性子利用

- プルトニウム増殖 (資源有効利用)
- マイナーアクチノイド燃焼 (有害度低減)

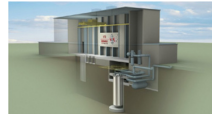


放射性毒物継続期間短縮 (約10万年→約300年)

【出典】第3回もんじゅ研究計画作業部会(H24.11.21)資料1-1

拡張性

米国で2つの実炉計画に採用
VTR: 高中性子密度を利用した試験炉
Natrium: 蓄熱システムを備えた高速炉
VTR(多目的試験炉) Natrium*(ARDP採択)



*TerraPower社とGE Hitachi Nuclear Energy社の共同開発

8. 燃料サイクルに貢献する新型炉の開発

プルサーマルの高度化を実現するRBWR

住民、事業者、国それぞれのニーズに応える

住民：安全性
廃棄物対策

事業者：経済性
発電コスト低減

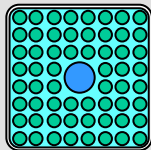
国：燃料サイクル推進
国際公約の遵守(Pu削減)
資源有効利用
長半減期核種低減

六角格子燃料
高速炉サイクル実現

- 次世代再処理
(多重リサイクル)

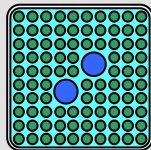
四角格子燃料
プルサーマル高度化

プルサーマル
Pu利用



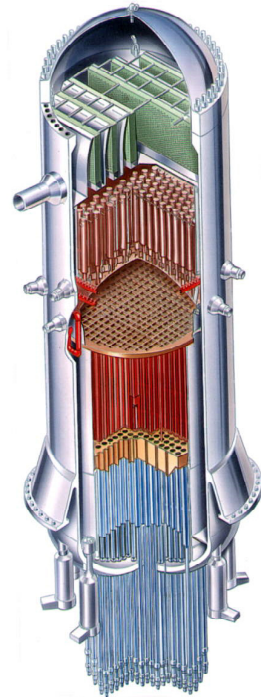
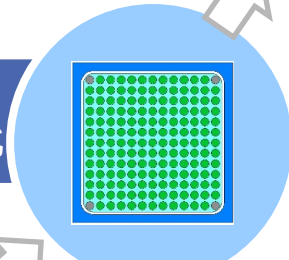
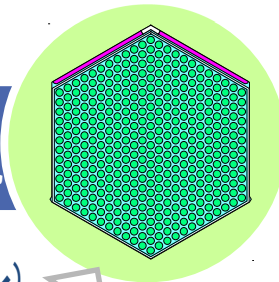
8×8MOX

最新燃料



10×10MOX

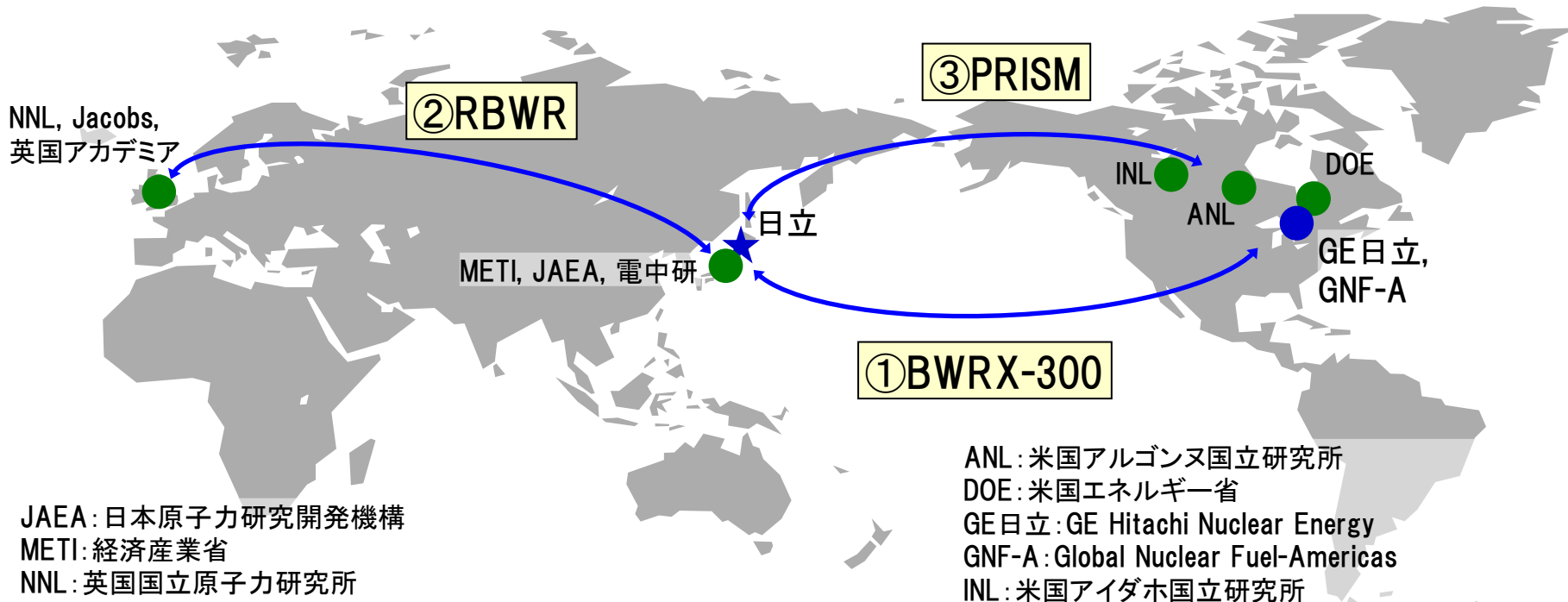
- 既設炉に適用可能
- 効果的なPu利用
- 既存の再処理・MOX
燃料技術利用



RBWR: Resource-renewable BWR

9.グローバルな開発連携体制

BWRX-300とPRISM はGEHとの連携を軸とした日米共同開発で実用化し、北米で初号機または試験炉建設。併行して産業界の協創により国内適用を推進し、世界に事業を展開
RBWR は日米英協力を軸とした国際共同開発体制を構築



10.技術維持、人財育成への取り組み

新增設・リプレースは、原子カライフサイクル全体の信頼性向上に大きく寄与

計画・基本設計

- ・炉心・燃料計画
- ・安全設計・安全解析
- ・遮へい・被ばく評価
- ・炉構造・熱水力設計
- ・系統設計
- ・配置設計
- ・計装制御設計
- ・電気計画
- ・材料計画 等

詳細設計

- ・機器・設備設計
- ・構造設計
- ・耐震設計
- ・配管設計
- ・モジュール設計
- ・工事計画
- ・建設計画
- ・技術規格・基準 等

製作・検査・建設

- ・機器・設備製造
- ・構造物製造
- ・機器調達
- ・溶接
- ・成型加工
- ・機械加工
- ・ヤード計画 等

試運転

- ・試験工程・計画
- ・単品機能試験
- ・系統機能試験
- ・試運転プラント操作
- ・系統フラッシング
- ・プラント異常診断
- ・不測時対応 等

運転・保守

- ・予防保全計画
- ・診断・点検・検査
- ・保守・設備改造・取替
- ・劣化緩和
- ・水質管理
- ・被ばく低減 等

新型炉基本設計開発

既設原子力設備の安全対策工事(一部の設備を対象)

既設原子力設備の保守

プラント建設プロジェクト

技術習熟
可能分野

10.技術維持、人財育成への取り組み

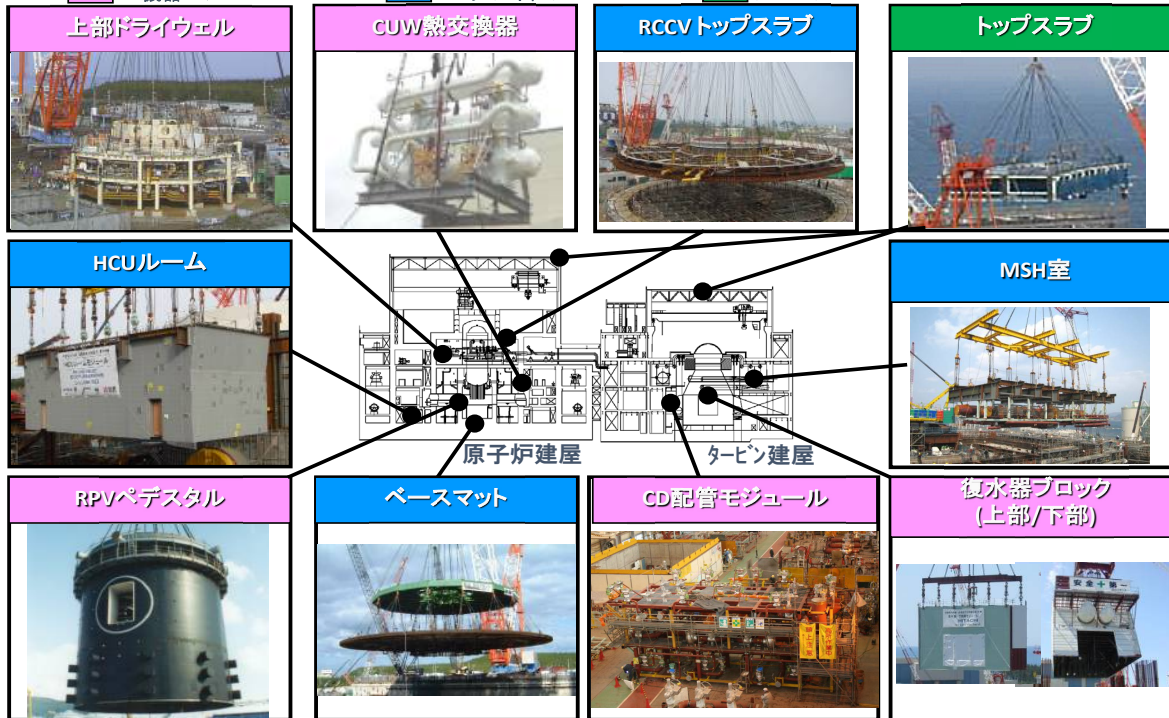
国内建設プロジェクトの再開を通して日立の建設技術を維持

大型モジュール工法

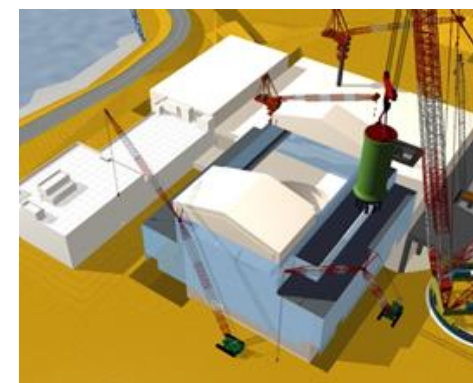
■ : 機器モジュール

■ : コンクリットモジュール

■ : シェルモジュール



全天候型工法

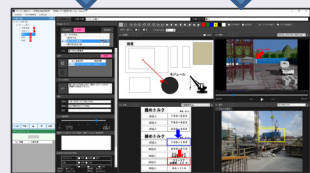


技術維持に向けたIT化の取組み(建設中プラントへの先行適用検討中)

ノウハウ・データ収集・整理

効果的なインタビュー手法で
熟練者のノウハウを抽出

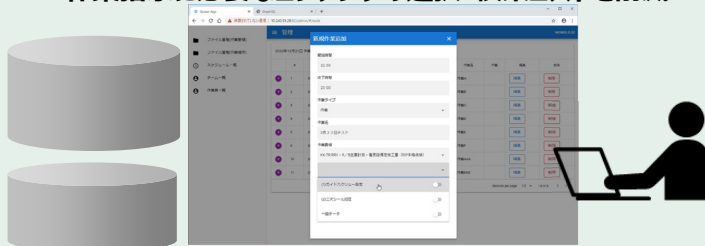
- ・ファンクショナルアプローチ法
- ・半構造化インタビュー法



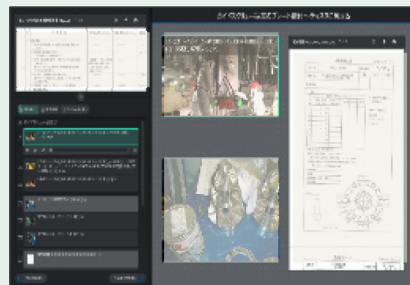
ノウハウ整理支援システム

IT手順書

作業指示に必要なコンテンツの選択・検索コストを削減

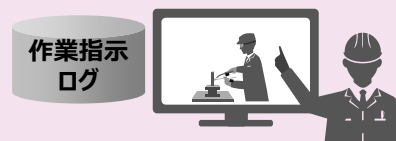


速・的確に説明できるUI



活用

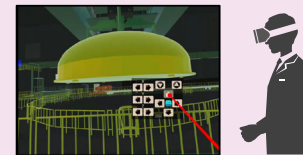
作業指示ログの類似作業
への再利用



タブレットでの確認



VRによる仮想OJT



VR : Virtual Reality

OJT : On the Job Training

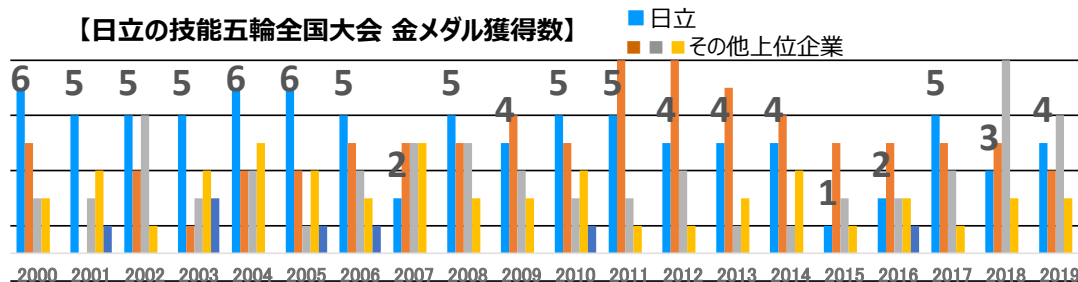
© Hitachi, Ltd. 2021. All rights reserved.

モノづくり力(基盤技術)強化、人財育成

<日立の取り組み>

- 若手技能者に2年間の訓練機会を与え日本一世界一へ挑戦
- 訓練を通じて将来のトップ技能者、リーダー人財を育成する
- トップ技能者をリーダーとして職場全体の技能レベルの底上げを図る

【日立の技能五輪全国大会 金メダル獲得数】



第58回 技能五輪全国大会
2020/11/13~16(愛知)

HGNE原子力製造部から
金賞2個、敢闘賞1個 受賞!

技能五輪国際大会(2022年)
中国・上海 出場権獲得!



高柳 哲也



川端 里空

- 世界的に大型炉新設では中・露の存在感が増加する一方、新型炉の開発・導入検討が加速。
- カーボンニュートラルに向けて、原子力はエネルギーの分散化・多様化への対応、社会的受容性への貢献が必要。
- 社会的受容性に貢献する新設炉の開発をグローバルな開発連携体制で推進
 - 安全性を向上したABWRを国際標準設計化し、更なる改善を継続
 - 革新的小型軽水炉BWRX-300を国際展開
 - 原子力発電のみならず燃料サイクルを意識したRBWR・PRISM開発を推進
- 国内建設プラント再開や新型炉開発等で技術維持を推進中。今後も信頼性確保と供給能力維持のために、プラント建設・製造能力の研鑽・維持に努めていく。

END

安全性・経済性を高めた次世代原子力プラントの開発設計

2021年9月15日
株式会社 日立製作所 執行役常務
原子力ビジネスユニット CEO
久米 正

Hitachi Social Innovation is

POWERING GOOD

世界を輝かせよう。