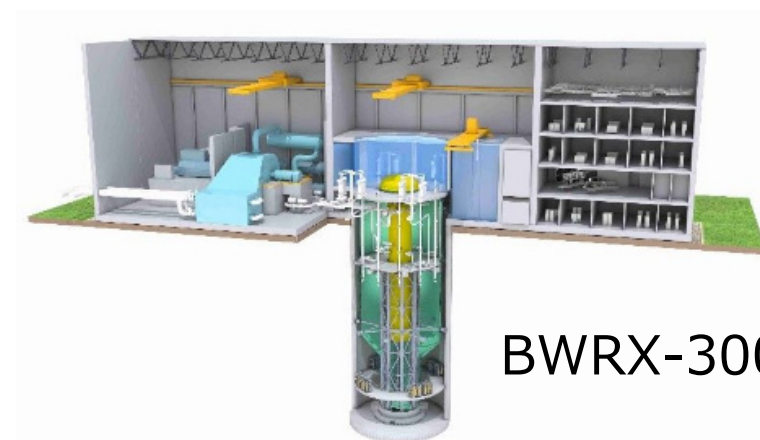


BWRX-300（沸騰水型SMR）と日立の新型炉開発

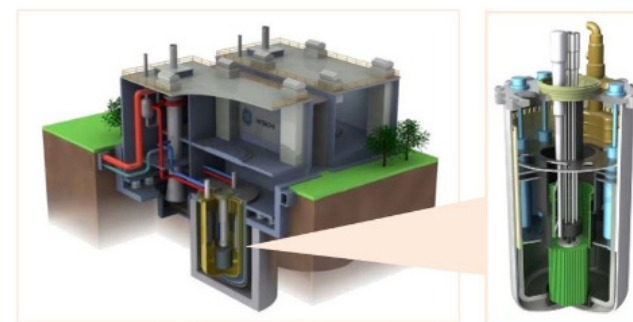
2022年 7月 18日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

- 経済産業省資源エネルギー庁は、「スペシャルコンテンツ」(原子力)を公開
- 次世代の原子炉の姿として、BWRX-300, PRISM, NuScaleを紹介 (2020.8.20)
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/smr_01.html



BWRX-300



PRISM



経済産業省
資源エネルギー庁
Agency for Natural Resources and Energy

↓ 本文 △ サイト内検索 検索

ご意見・お問合せ | インフォメーション | サイトマップ | English | 経済産業省HP

ホーム | スペシャルコンテンツ | 当庁について | お知らせ | 政策について | 調達情報 | 統計・データ | 審議会・予算

スペシャルコンテンツ

原子力にいま起こっている
イノベーション (前編)
～次世代の原子炉はどんな姿？

詳しくはこちら →

次世代の原子炉は
どんな姿？

CO2の排出量
どうやって測る？

新たな国際資源戦略
④気候変動対策

日本のエネルギー
2019



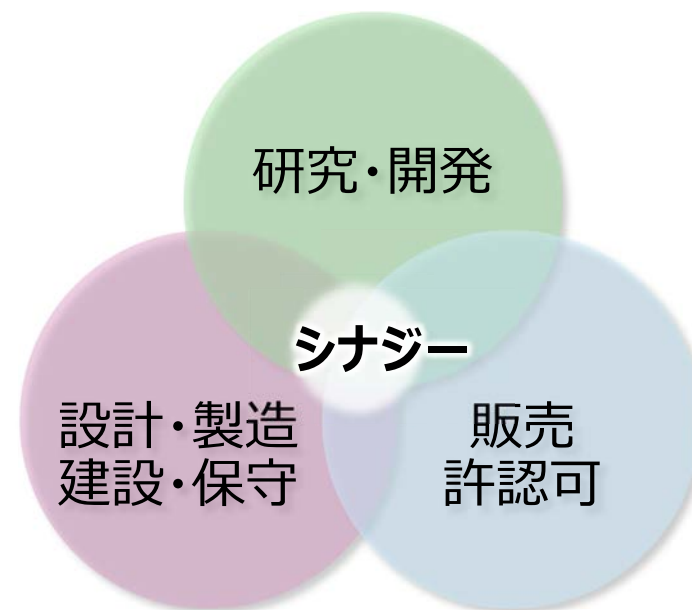
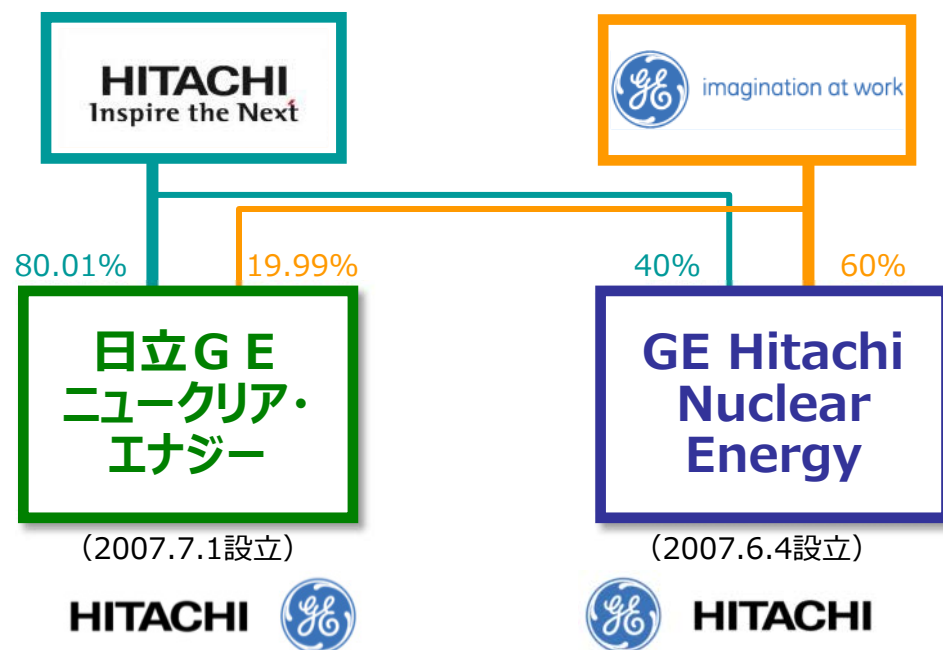
1. 日立の原子力事業の概要
2. 原子力の概況
3. 日立の原子力ビジョンと開発戦略
 - 3-1 高経済性小型軽水炉BWRX-300の開発
 - 3-2 フルMOX-ABWRから
軽水冷却高速炉RBWRへの発展
 - 3-3 金属燃料小型Na冷却高速炉PRISMの開発
4. まとめ



1. 日立の原子力事業の概要

海外協力会社とのシナジー効果で、高品位なサービスを実現

- 半世紀以上の原子力事業での豊富な実績を持つ両社の技術と経験を受け継ぎ、信頼性の高いモノづくりを推進します。
- 軽水炉、高速炉、原子燃料サイクルの研究・設計・製造・建設・保守まで一貫したより品質の高いサービスをグローバルに提供します。



商号	日立GEニュークリア・エナジー株式会社 (Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.)
株主	日立製作所：80.01% GE社：19.99%
資本金	50億円
本店所在地	茨城県日立市
東京本社	東京都千代田区（秋葉原）
従業員数	約1,500名
業務内容	発電用原子炉施設、高速増殖炉施設、原子燃料サイクル関連施設、核融合加速器関連施設及びその他関連製品の設計、製造、販売、据付及び保守
沿革	1910年 株式会社日立製作所 創業 1957年 日立工場 原子力開発部 設立 1958年 電気事業部内に原子力部を新設 1983年 原子力部を原子力事業部に改組 2007年 日立GEニュークリア・エナジー株式会社 設立

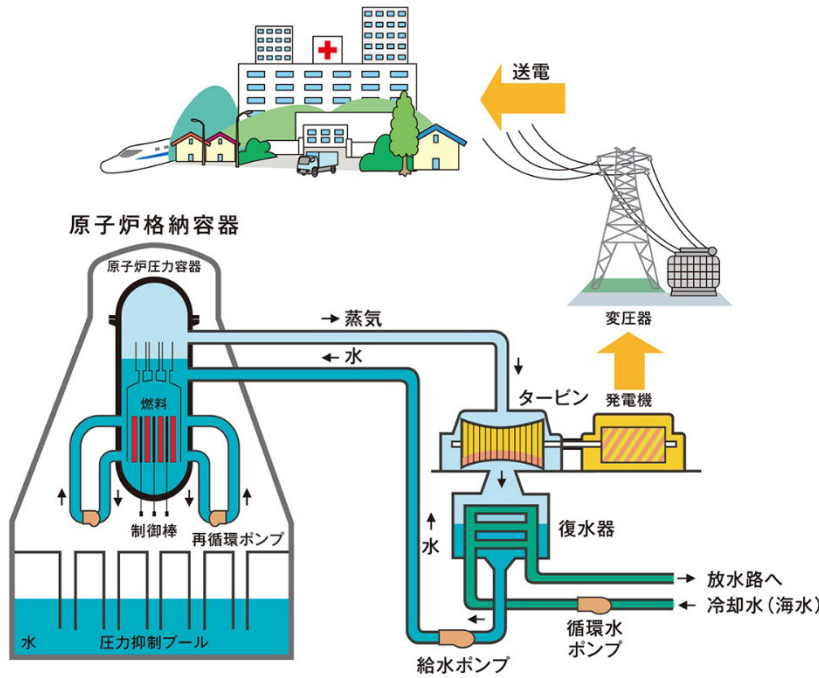


日立事業所（本店）

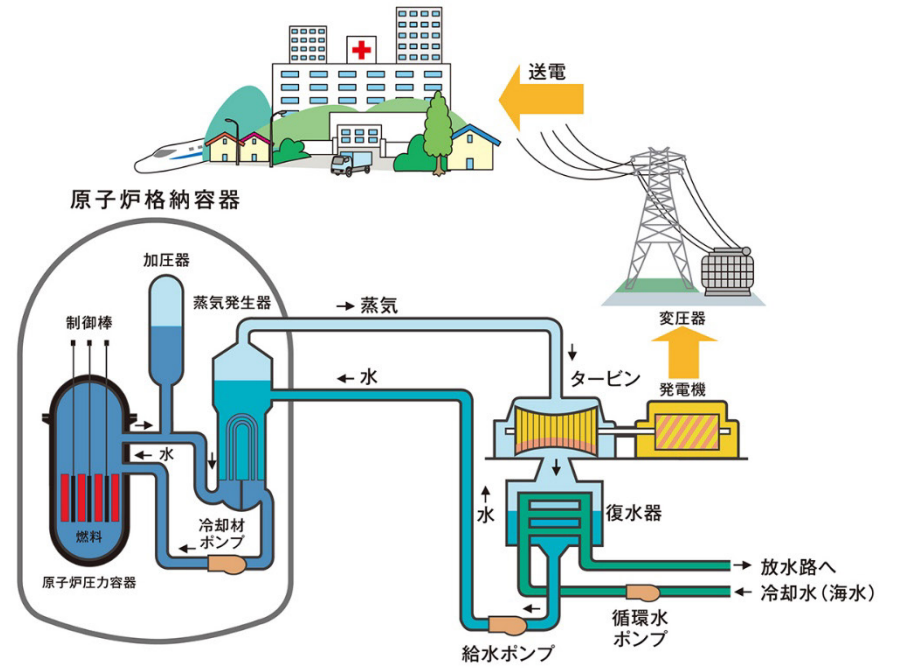


東京本社
(秋葉原タワー)

沸騰水型炉 (BWR) 原子力発電のしくみ



加圧水型炉 (PWR) 原子力発電のしくみ



沸騰水型炉 (BWR)

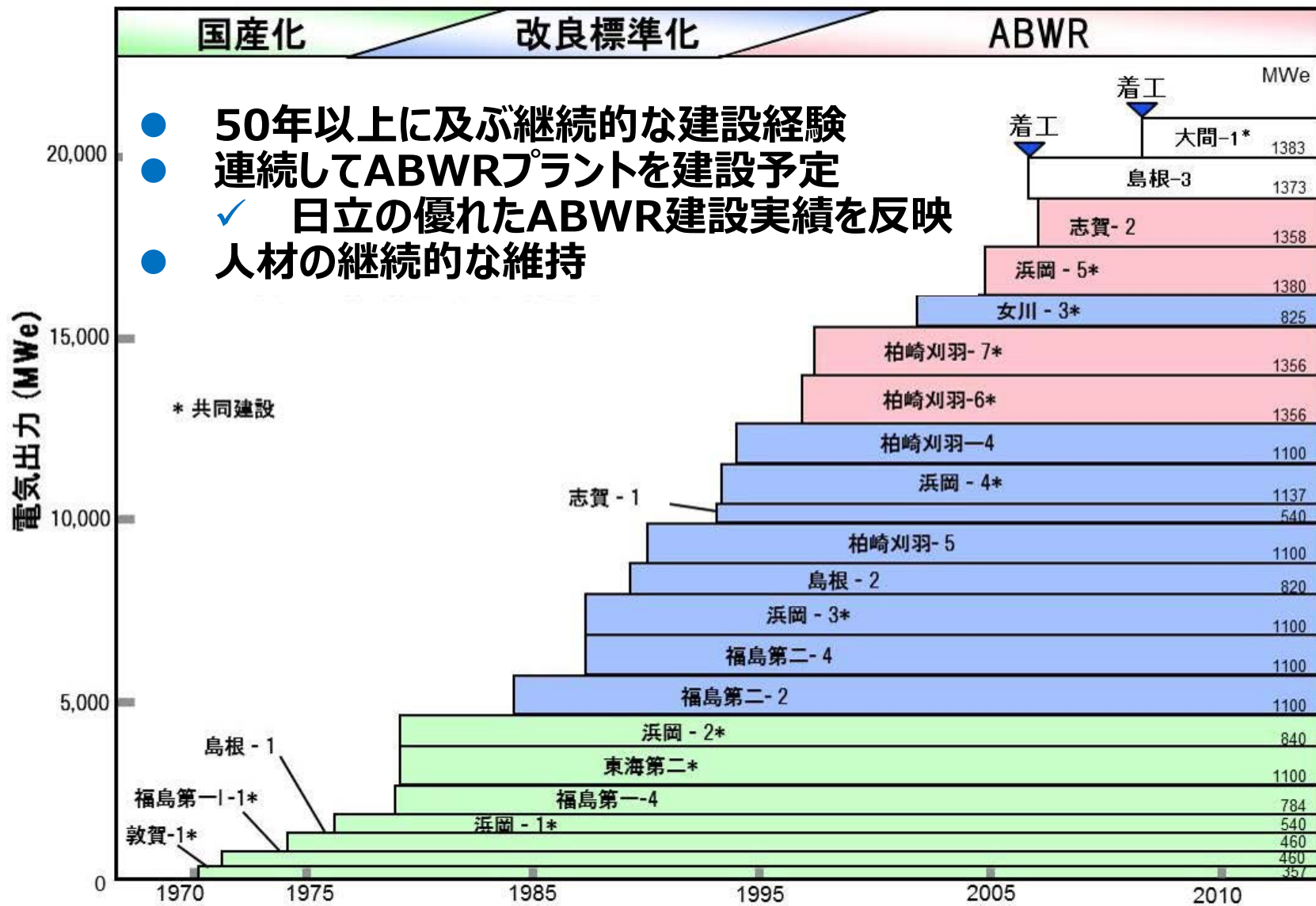
採用電力

東京、中部、東北、北陸、中国、原電

加圧水型炉 (PWR)

関西、北海道、四国、九州、原電

出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」





2. 原子力の概況

2-1 原子力発電所の再稼働状況(2022年6月30日時点)



2021年10月22日 第6次エネルギー基本計画閣議決定

- 2050年カーボンニュートラル(CN)
- 2030年CO₂排出量を2013年度比 -46%にするためのエネルギー政策の道筋を示す



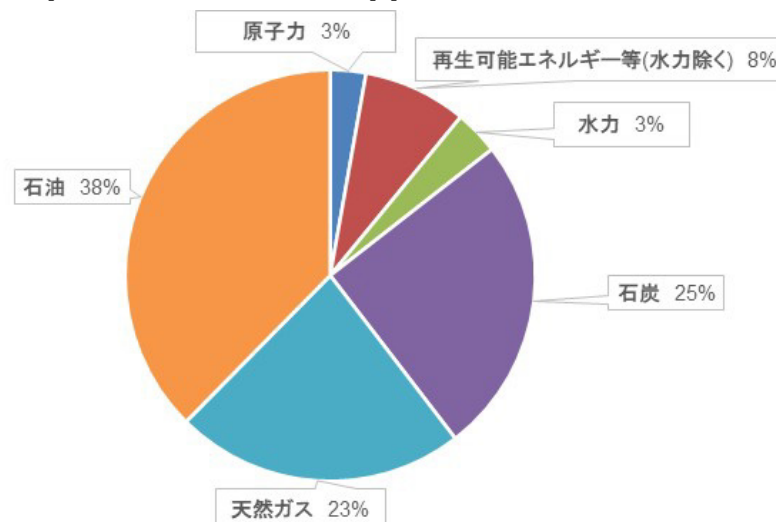
安全性の確保を大前提に、気候変動対策を進める中でも、自給率を含めた安定供給の確保やコストの低減（S+3E*）に向けた政策・予算立案

- **原子力については、国民からの信頼確保に努め、安全性の確保を大前提に、必要な規模を持続的に活用。**
- **再生可能エネルギーの拡大を図る中で、可能な限り依存度低減。（再稼働を推進、小型モジュール炉など国際連携による研究開発推進など）**

(*) S+3E:エネルギー政策の原則

Safety(安全)、
Energy Security (安定供給)、
Economical Efficiency (経済性)、
Environment (環境)

2018年国内一次エネルギー割合
(総量197.3(石油換算億トン))エネルギー自給率：12%



資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

資源エネルギー庁

電力・ガス事業分科会 原子力小委員会

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/index.html

第24回 2月24日(令和4年度初回)

今後の原子力政策について

第25回 3月28日

エネルギーを巡る社会動向と原子力の技術開発

第26回 5月10日

- 核燃料サイクルの確立に向けた取組
- 最終処分に関する最近の取組

第27回 5月30日

- 原子力の自主的な安全性向上に向けた産業界の各組織の現状と今後の方向性について
- 着実な廃止措置に向けた取組

第28回 6月30日

- 地域との共生と国民理解の促進

資源エネルギー庁

電力・ガス事業分科会 原子力小委員会

革新炉ワーキンググループ

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/index.html

第1回 4月20日

革新炉開発について

第2回 5月19日

革新炉開発について

- 革新炉開発における価値について（エネルギー安全保障、廃棄物問題解決）
- 革新炉開発の海外動向・国際連携について

第3回 7月1日

革新炉開発について

- 革新炉開発における課題について

NEXIP : Nuclear Energy × Innovation Promotion

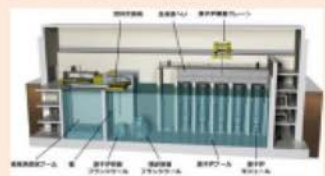
技術開発支援、研究開発基盤の供用、人材育成・産業基盤強化を通じて原子力イノベーションを創出



NuScale SMR

日揮グローバル株式会社、株式会社IHI

- PWRタイプのSMR。複数のモジュールをプール内に設置し、炉心冷却が可能。
- 1モジュールの出力は7.7万kWで、最大12個のモジュールを設置可能(最大92万kW)。
- 2029年に米国で実証炉運開を目指すNuScale社に、2021年、日揮・IHIが出資を発表。
- モジュール・メンテナンス機器等の課題について日米協力を通じて実証を目指す。



BWRX-300

日立GEニュークリア・エナジー株式会社(日立GE)

- 出力30万kWのBWRタイプのSMR。圧力容器と一体化した隔離弁を採用した原子炉とすることで、配管破断による冷却材喪失事故を排除する設計。NRCからも認可。
- 米GE Hitachi社と日立GE社が共同開発し、北米での実証を目指す。
- 日立GEの実温・実圧で試験できる設備を活用し、要素技術を実証を予定。



多目的利用小型PWR

三菱重工業株式会社

- PWRタイプのSMR。炉容器に蒸気発生器を内蔵することで冷却材喪失事故の排除、炉心冷却にポンプ等の動的機器を使わない受動安全性等が特徴。
- 独自IPで、出力30万kWの発電用炉と、革新的な窒化物燃料を使う出力3万kWの船舶搭載炉を開発。



マイクロリアクター

- 災害時の非常用電源、遠隔地などで多目的に利用できる出力0.05万kWのマイクロリアクターも開発。



小型ナトリウム冷却金属燃料高速炉(PRISM)

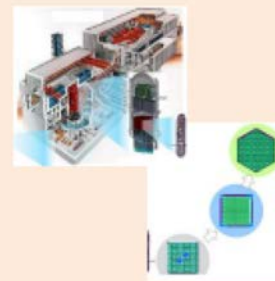
日立GEニュークリア・エナジー株式会社(日立GE)



- 日立GEのパートナー・米GE Hitachi社開発のナトリウム冷却・金属燃料小型モジュール高速炉。
- 金属燃料による固有安全性、静的機器による受動安全、モジュール工法による工期削減等が特徴。
- 設計概念は米国のVTR、Natrium炉にも採用。

軽水冷却高速炉

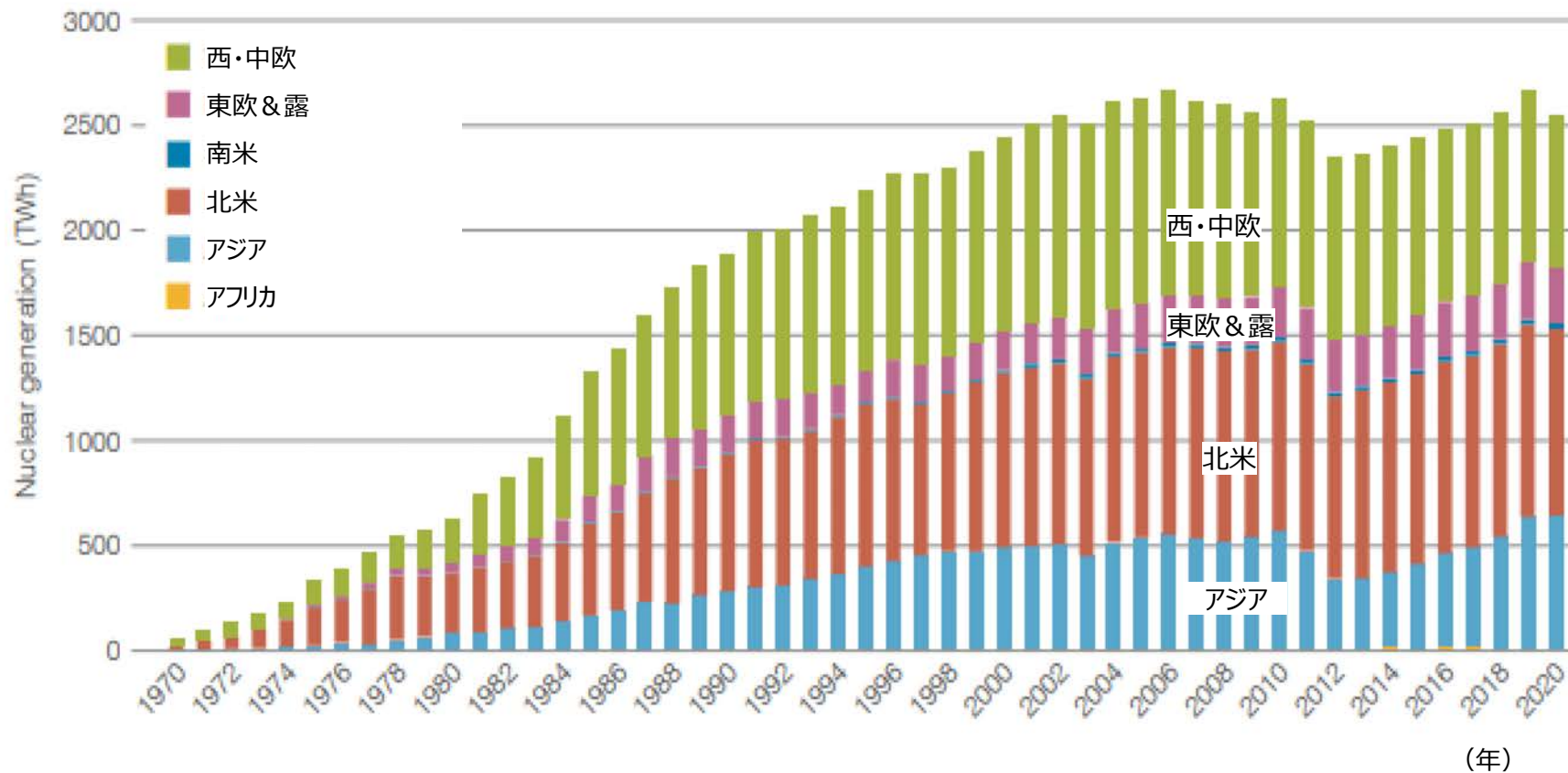
日立GEニュークリア・エナジー株式会社



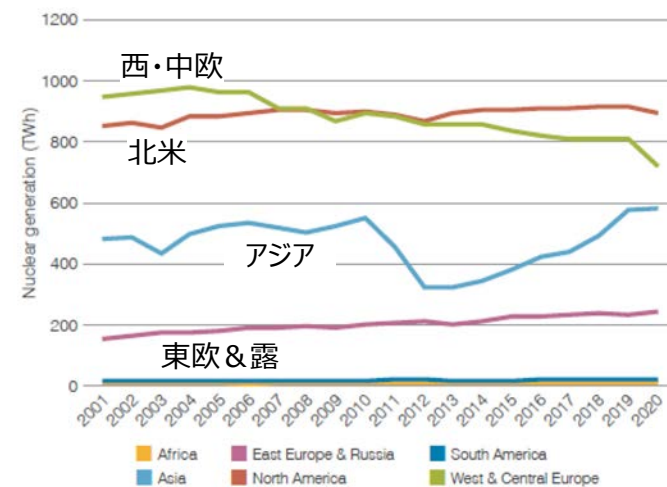
- MOX燃料棒を稠密に配した四角格子燃料を既設BWR・ABWRに装荷し、BWRでプルトニウムを集中的に経済効率よく燃焼することを可能とする提案。
- 現行再処理・MOX燃料技術を活用可能。

世界の総原子力発電量

TWh = 10億kWh



地域別原子力発電量



「WNA World Nuclear Performance Report 2021」

北米を中心とし世界的に革新炉の開発・導入検討が加速

米DOE 先進的原子炉設計の実証プログラム(ARDP)開始。'27年以内に二つの先進的原子炉の実証炉稼働目標

加政府 SMR開発 国家行動計画公表。加電力OPG社 '28年までのSMR商業炉 初号機稼働目標

<p> 英</p> <p>革新炉の実証支援 グリーン産業革命の一環として、革新炉実証等に向けた£385M(約539億円)の基金を設置</p> <p>SMRの開発 ロールスロイス社のSMRが2029年までの稼働を目指す</p>	<p> 露</p> <p>高速実証炉 BN-800 ~ 2015年12月に稼働 ~</p> <p>海上浮揚式原発 アカデミック・ロモノフ号 ~ 本年5月に稼働 ~</p>	<p> 米</p> <p>軽水炉SMRの開発</p> <p>NuScale社のSMR ~ アイダホ国立研究所内で2029年の稼働を目指す ~</p> <p>その先の実証炉建設 7年以内の実証炉建設に向け、2炉型の支援を決定</p> <p>ナトリウム冷却高速炉 (テラパワー社) 高温ガス炉 (X-Energy社)</p>
<p> 仏</p> <p>高速炉開発の推進 ・多年度エネルギー計画で高速炉開発方針を堅持。</p> <p>多様な炉型の開発 ・軽水炉SMRであるNUWARDを開発中。 ・大型の高速炉に加え、小型モジュールタイプの高速炉も開発。</p> <p>NUWARD</p>	<p> 中</p> <p>高温ガス炉 中国国産炉 (華龍1号)</p> <p>高温ガス実証炉 (HTR-PM) が来年に稼働予定</p> <p>福清原子力発電所 ~ 2020年12月に送電網接続 ~</p>	<p>137</p>

資源エネルギー庁「2050年カーボンニュートラルの実現に向けた検討」(令和2年12月)

加

- '21年4月 4電力(OPG, BP, Sask, NB)*で SMR開発FS結果公表
*OPG: オンタリオ・パワー・ジェネレーション, BP: ブルース・パワー, Sask: サスク・パワー, NB: ニューブランズウィック・パワー
- '21年12月 OPG社、'22年6月にSaskPower社が建設炉にBWRX-300を選定

BWRX-300 (GE日立)

欧州

- ポーランド、エストニア、チェコ等でSMR導入検討中
- '21年2月タリン宣言：SMR導入へ向けた規制課題に関し欧州民間9社(9カ国)間による協力を発表
(9カ国：エストニア、フィンランド、スウェーデン、ベルギー、ポーランド、チェコ、ルーマニア、オランダ、アイルランド)



3. 日立の原子力ビジョンと開発戦略

社会的/電力会社様のニーズに貢献できる型炉の選択

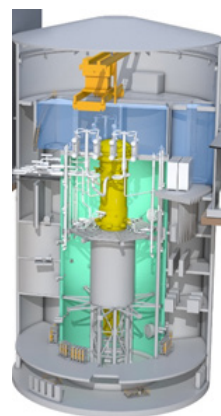
ABWR
1350MW級
(既存技術)

大型炉

- 安全対策を実施した再稼働
- 建設炉の完成
- 更なる安全性向上

- 高い電気出力
- ベースロード電源

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

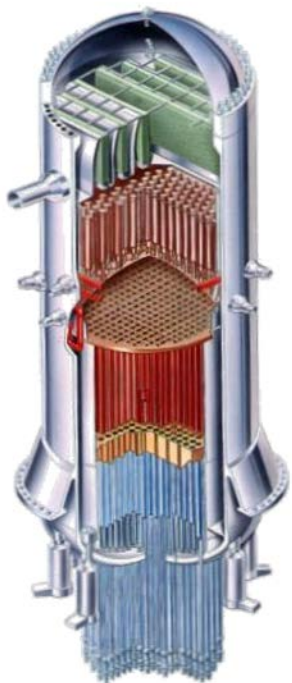
- 小さい敷地面積
- 再生エネとの共存
- 初期投資の低減

燃料サイクル

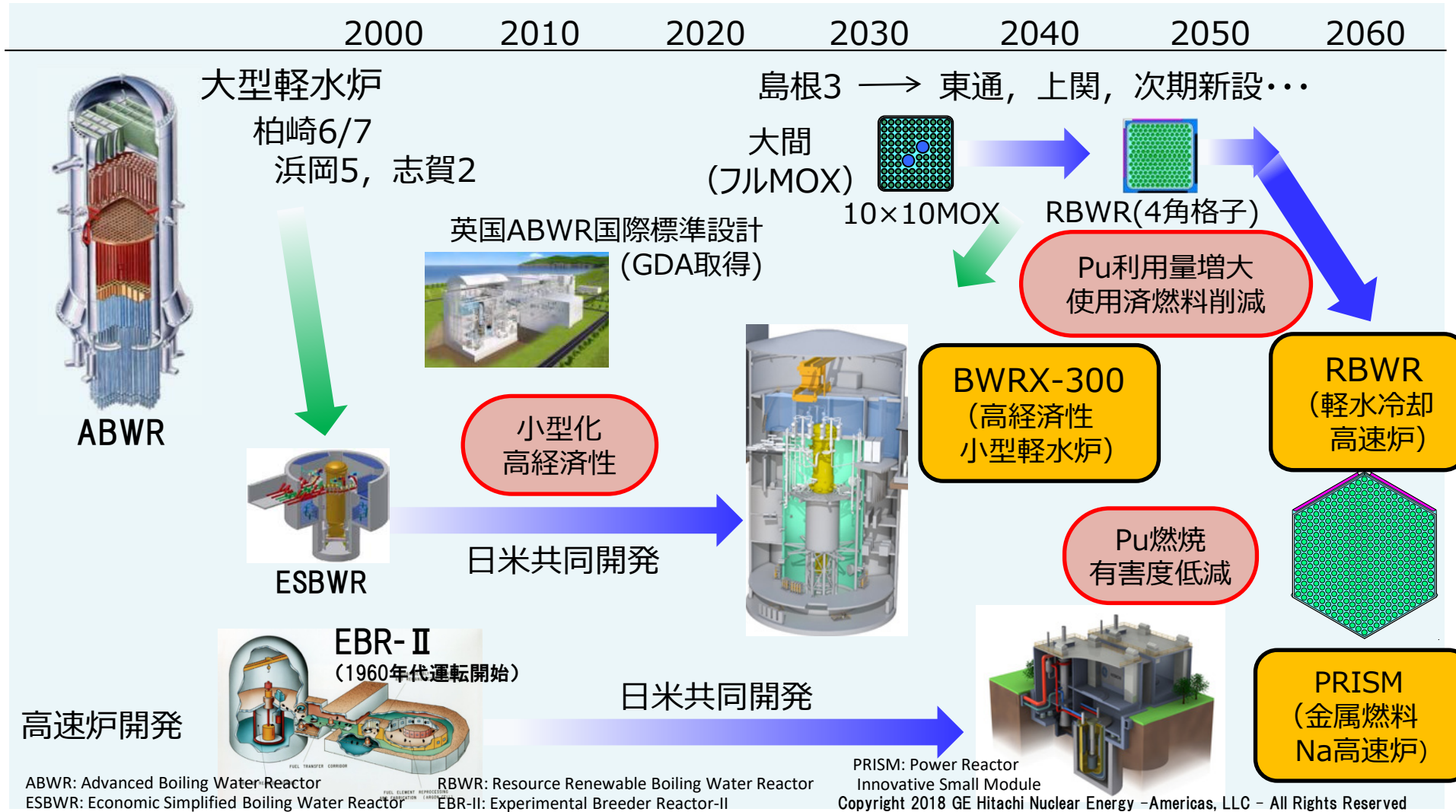
- プルサーマル高度化
- 国際協力による高速炉開発

- 使用済燃料削減
- 長半減期核種削減

↑ ↓ 多様な選択肢



- 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





3-1 高経済性小型軽水炉BWRX-300の開発

2021.12.2 OPG (Ontario Power Generation) 社 プレスリリース (抜粋、邦訳)

https://www.opg.com/media_releases/opg-advances-clean-energy-generation-project/

OPGがクリーンエネルギー発電プロジェクトを推進

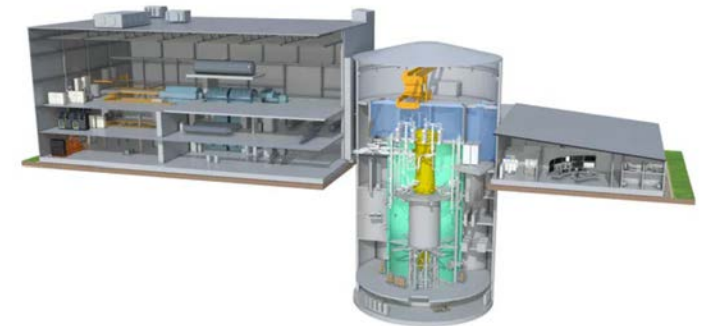
GE日立ニュークリアエナジーが小型モジュール炉技術開発 パートナーに選ばれました

オンタリオ州クラリントン-本日、オンタリオパワージェネレーション (OPG) は、GE日立ニュークリアエナジーと協力して、現在カナダで新しい原子力発電建設の認可を受けている唯一のサイトであるダーリントンの新規原子力発電所用サイトに小型モジュール炉 (SMR) を導入することを発表しました。オンタリオを拠点とする強力なサプライチェーンを活用するこのクリーンエネルギープロジェクトは、州全体で雇用を創出し、オンタリオのクリーンエネルギーの首都としてのダーラム地域の地位を確固たるものにします。

OPGとGE日立は、早ければ2028年にカナダ初の商用グリッドスケールSMRを建設完了することを相互の目標とし、SMRエンジニアリング、設計、計画、ライセンスおよび許認可図書の準備、およびサイト準備活動に協力します。



GE Hitachi Nuclear Energyホームページより



BWRX-300概要図

2021年12月、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建設を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年代中盤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。
- 2022年3月11日、DNNPのサイト準備工事のため、E.S.Fox社に約30億円の作業を発注したことを公表(準備工事作業は年末までに開始)



Darlingtonサイト



記者発表するOPGのHartwick CEO

6/27 カナダ電力Saskpower (サスカチュワン州所有電力)は、同社の新設プロジェクトにBWRX-300を選定したことをアナウンス*

- カナダ全体のSMR計画 (Canada's Small Modular Reactor Action Plan, 2020年公表) の中で、SaskpowerはOPGの次に発電用炉を設置する方向となっていた
- OPGが2021年12月にGEHのBWRXを選定した後、2022年3月22日に4州合同の図書として「A Strategic Plan for the Deployment of Small Modular Reactors」を公表 (重要ポイントは下記3点)
<https://publications.saskatchewan.ca/api/v1/products/117374/formats/134796/download>
 - カナダSMRは3つのストリームで進める
 - ストリーム1は発電用300MW級のSMRで、まずOPGがDarlingtonで2028年運転開始を目指して進め、それに引き続いてサスク州で最大4基を建設する (初号機は2034年運転目標)
 - Saskpowerは2022年初頭にも炉型選定結果を公表予定



カナダ地図

[Nuclear Power in Canada - World Nuclear Association \(world-nuclear.org\)](https://www.world-nuclear.org/)

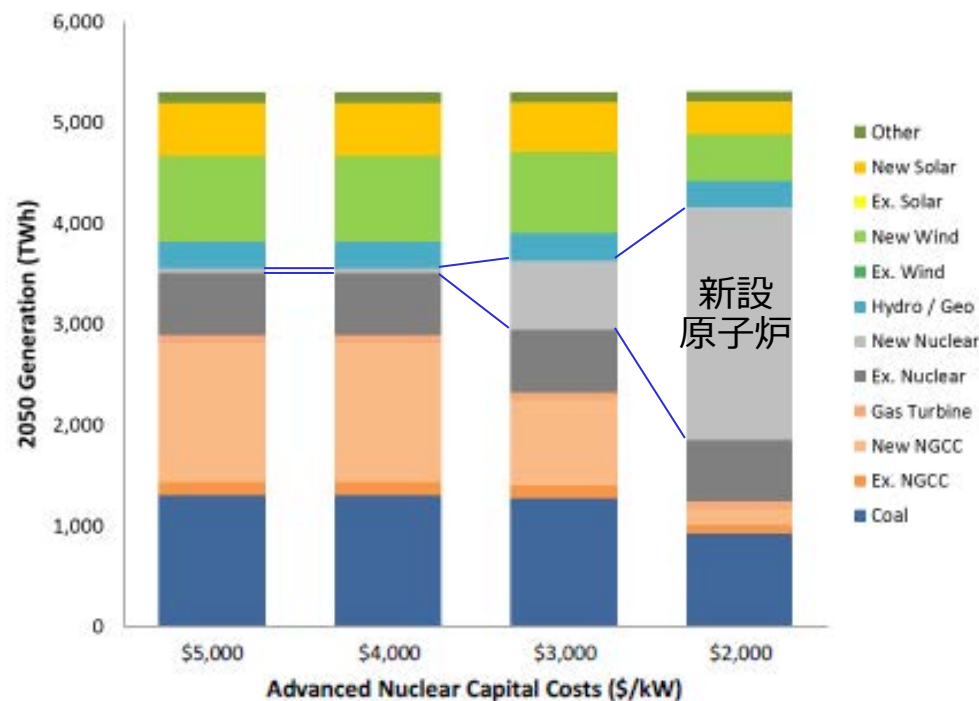
* <https://www.saskpower.com/about-us/media-information/news-releases/2022/saskpower-selects-the-ge-hitachi-bwrx-300-smr-technology-for-potential-deployment-in-saskatchewan>

(参考) BWRX-300の完成予想図

HITACHI



- 新市場の開拓に向け，BWRの特性を生かした高経済性小型炉 BWRX-300を日立GEとGE Hitachi Nuclear Energy で共同開発中

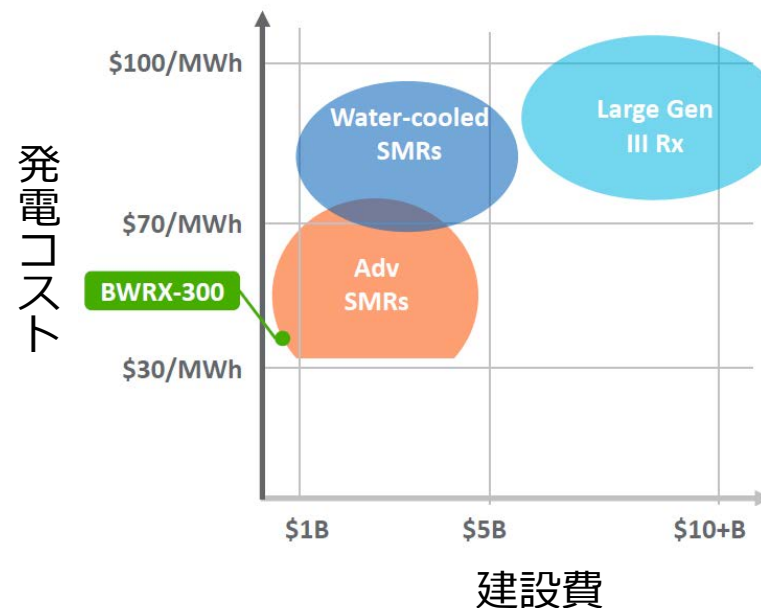


資本コストによる2050年エネルギーミックスの評価(米国)

Figure 3-2

Sensitivity of the electric generation mix in 2050 to the assumed capital cost of advanced nuclear with reference policies and gas prices

Ref. EPRI, "Exploring the Role of Advanced Nuclear in Future Energy Markets Economic Drivers, Barriers, and Impacts in the United States", April 20, 2018.



小型化によるメリット追求

- ・初期資本費の大幅低減
- ・避難準備区域縮小への挑戦

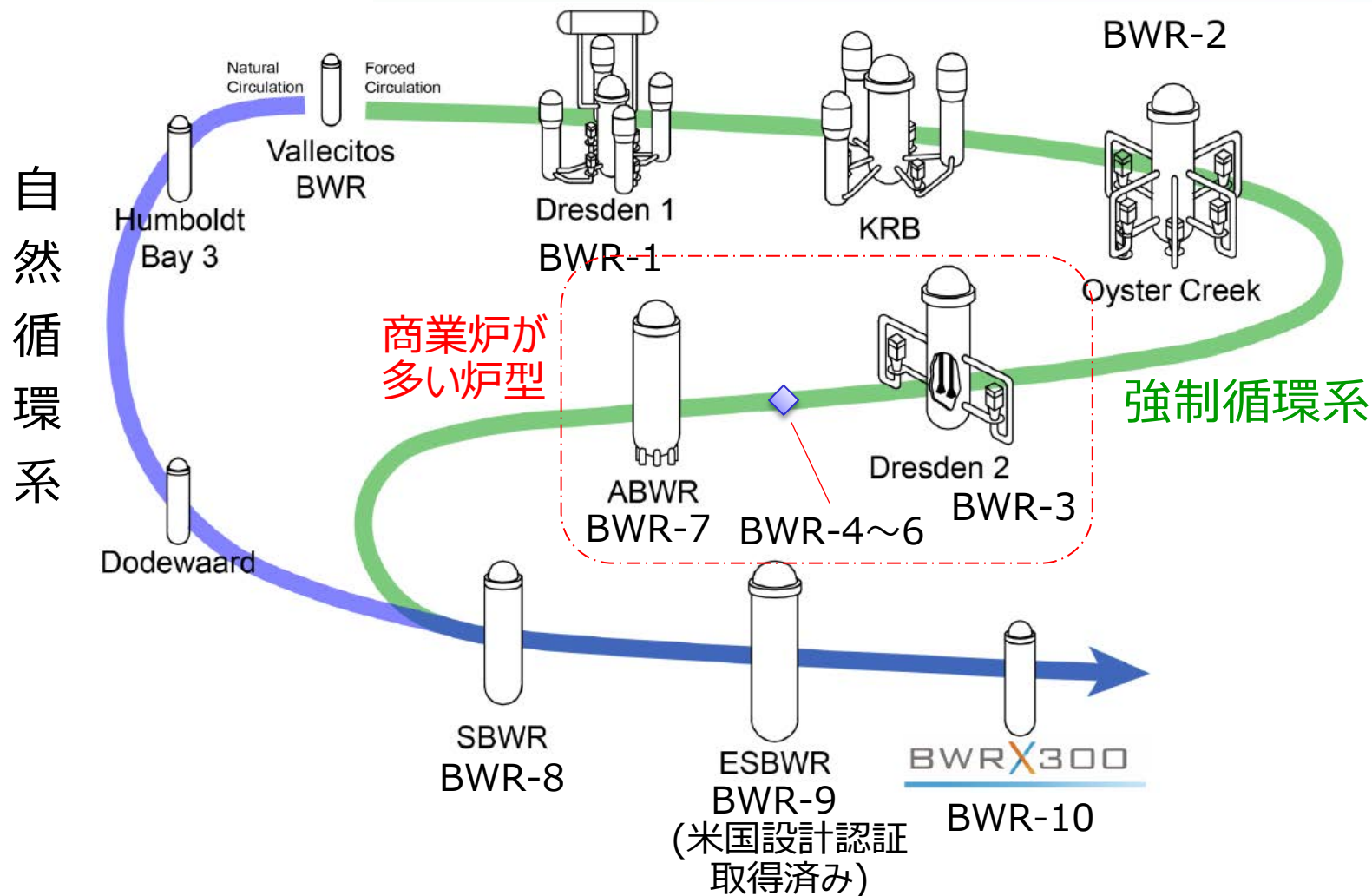
- シンプルなBWRを更に簡素化し，他電源に対して競争力のある小型軽水炉を開発
 - 日立GEニュークリア・エナジーとGE Hitachi Nuclear Energyで共同開発
- 第10世代BWR
 - 300MWe級SMR (Small Module Reactor)
 - 世界標準の安全性，実証済み技術の採用
 - “Design to Cost”の概念
 - ✓ 自然循環の採用による動的機器削除
 - ✓ 隔離弁一体型原子炉概念の採用によるLOCA想定の不要化（安全設備の簡素化）
 - ✓ 建屋面積の縮小と，先進建設工法の採用による建設コストの大幅な低減

BWRX300

(300MWe)



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

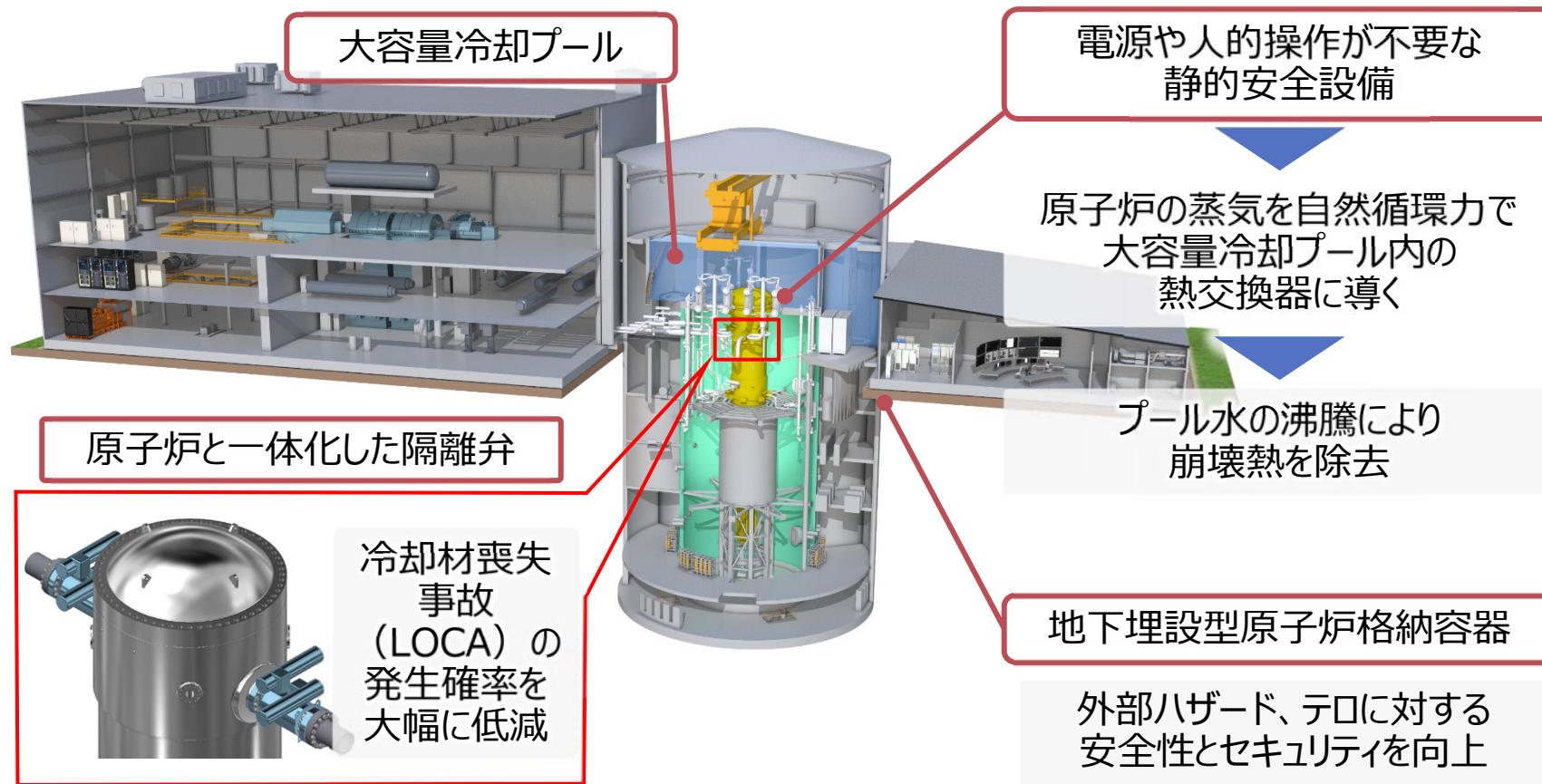
- 高出力プラントの採用
- 燃料性能の最大化
- 再循環ポンプの採用



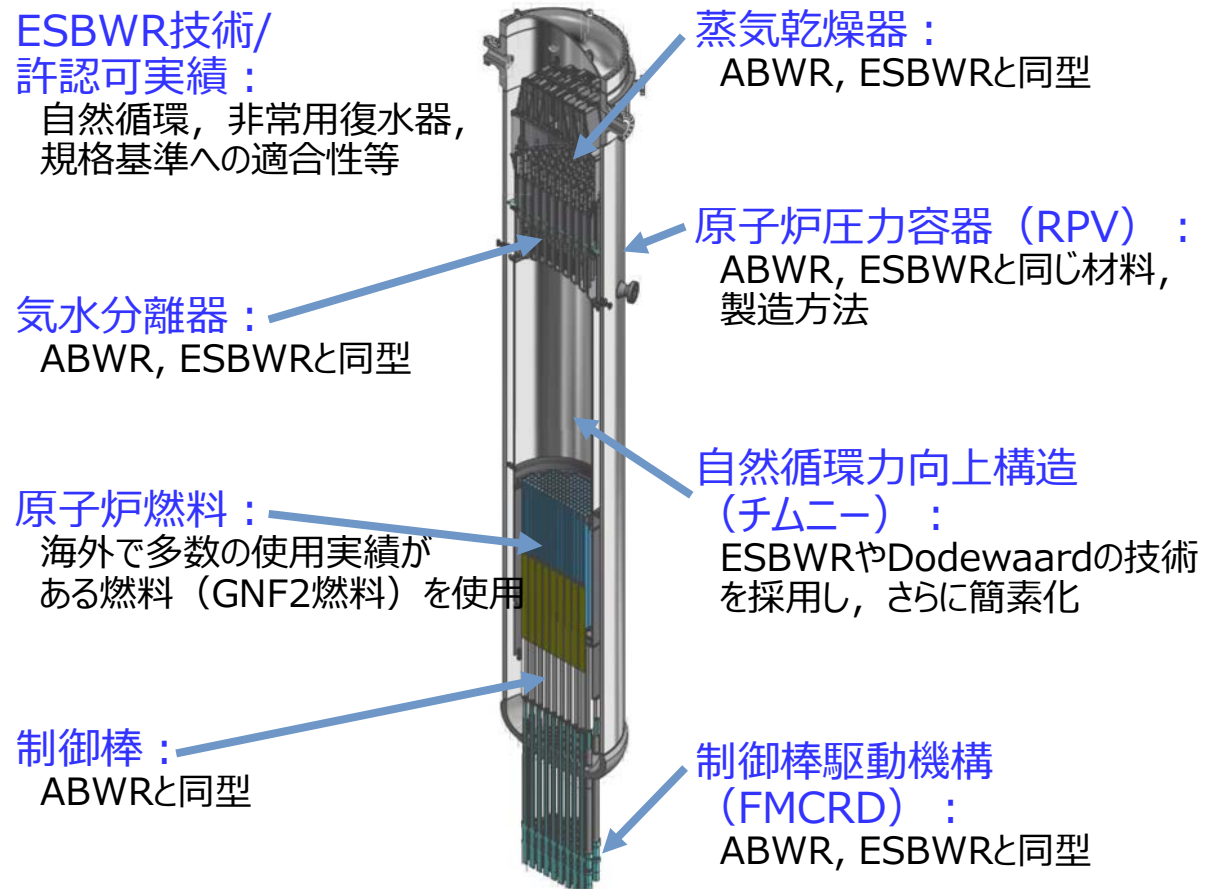
現在の社会ニーズ

- 建設コストの削減
 - 安全性の向上
- ➡
- ✓ 自然循環冷却
 - ✓ 静的安全性を採用

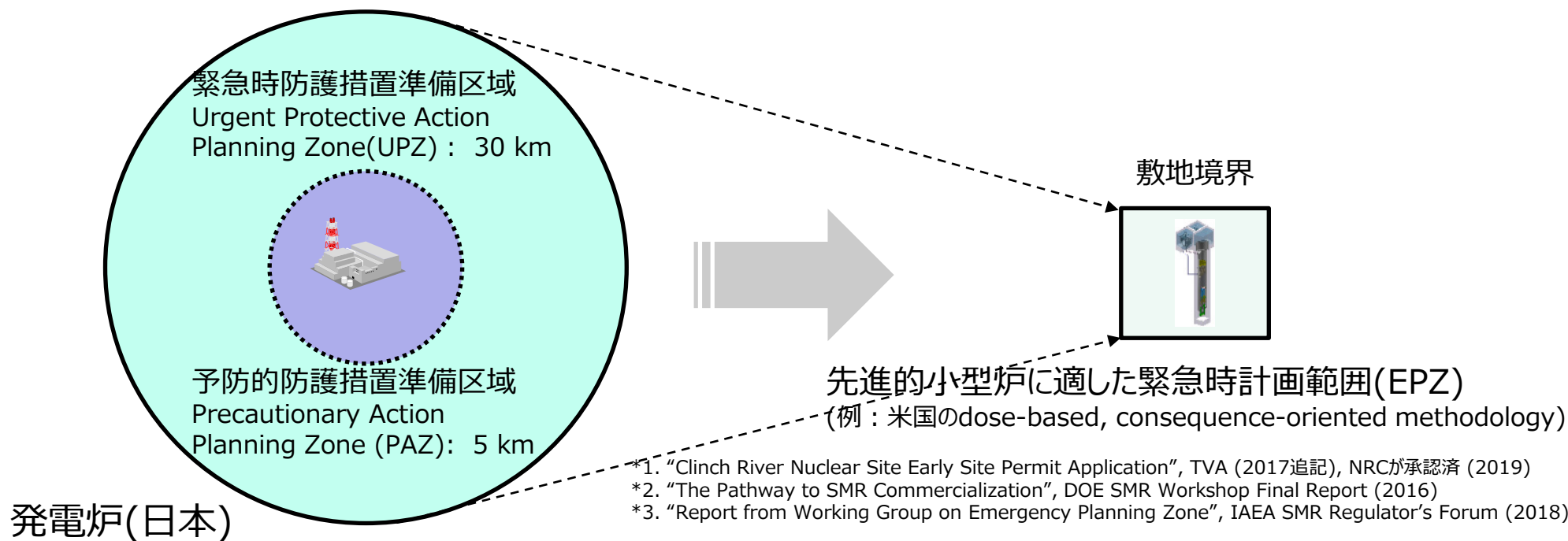
- 革新的な隔離弁一体型原子炉の採用により、冷却材喪失事故（LOCA）の発生確率を大幅に低減
 - ✓ 自然力を用い、外部動力や支援に頼らない静的な安全設備で事故を収束
 - ✓ “シンプルなシステム”を追求し、高い安全性・信頼性と、高い経済性を両立



- システム・機器の多くに、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の技術を採用
- 成熟した技術と革新的な安全性向上策を融合し，早期に市場導入



- 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: Emergency Planning Zone) 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
- 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



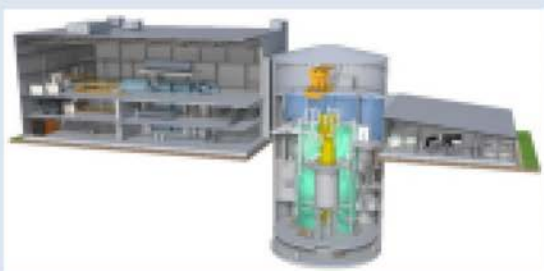
- カナダ・オンタリオ州, サスカチュワン州における建設炉の候補として選定
 - オンタリオ州営電力会社Ontario Power Generationは, 2028年のSMR運転開始を目指し, **BWRX-300を選定 (2021年12月)**
 - サスカチュワン州営電力会社SaskPowerは, 2030年代中盤のSMR運転開始を目指し, **BWRX-300を選定 (2022年6月)**
- 米国電力が設計・許認可・詳細プロジェクト計画を推進 
 - 米国の国営電力会社Tennessee Valley Authorityは, **BWRX-300**の設計・許認可・詳細プロジェクト計画を予算**\$200MM (2~3年)**で推進すると公表 (**2022年2月**)
- 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 (**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

【参考】SMR：GE Hitachi社（BWRX-300）と日立GE社が共同開発

- 米GE Hitachi社と日立GE社が共同開発する電気出力30万kW級のBWR型小型モジュール炉。
- 2021年12月2日、カナダの電力会社OPG社が最速2028年運転開始を目指すプロジェクトに、米GE Hitachi社のBWRX-300を選定。
- 今後、日本国内でも、日立GE社の設備を活用した要素技術の実証を実施予定。

<特徴>

- ・ BWRタイプ。電気出力30万kW。
- ・ 自然循環の利用によりポンプを排除、受動的冷却システムにより電源・注水設備・運転員操作なしで7日間冷却可能。
- ・ 圧力容器に隔離弁を直付けすることで、冷却材喪失事故の発生確率を削減。



BWRX-300概略図

<カナダプロジェクトの概要>

- ・ オンタリオ州（人口最大州・首都オタワが位置）にて、州営オンタリオ電力がSMR建設に向け、炉型選定を実施。
- ・ 昨年12月に、米GE Hitachi社のBWR型軽水炉のSMRである「BWRX-300」が正式に採択。
- ・ 今後、2028年までの初号機建設を目指すためにサプライチェーン構築等が進められる見通し。



BWRX-300完成イメージ図

<国内企業の関わり>

- ・ 経産省予算にて、日立GEの実温・実圧で試験できる設備を活用し、要素技術の実証に向けて研究開発を実施中。

ハッスル
日立多目的蒸気源試験装置(HUSTLE)
実温・実圧にて安全性や性能を確認できる試験設備

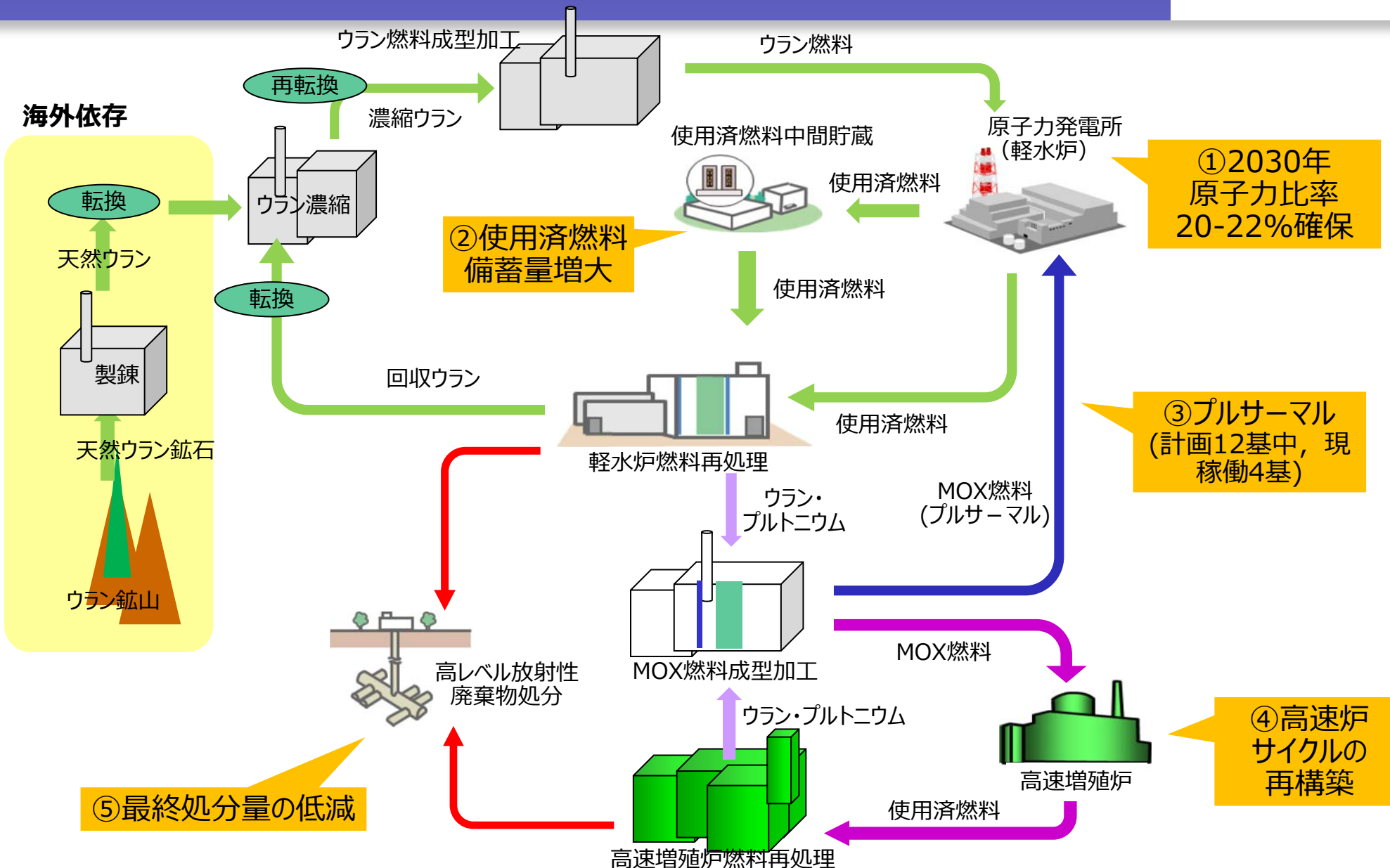


40



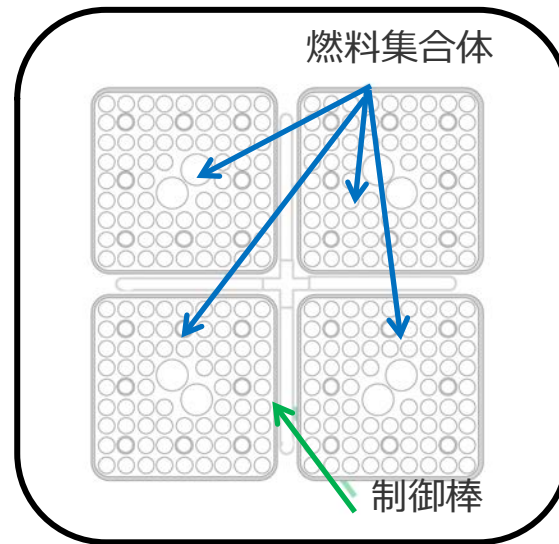
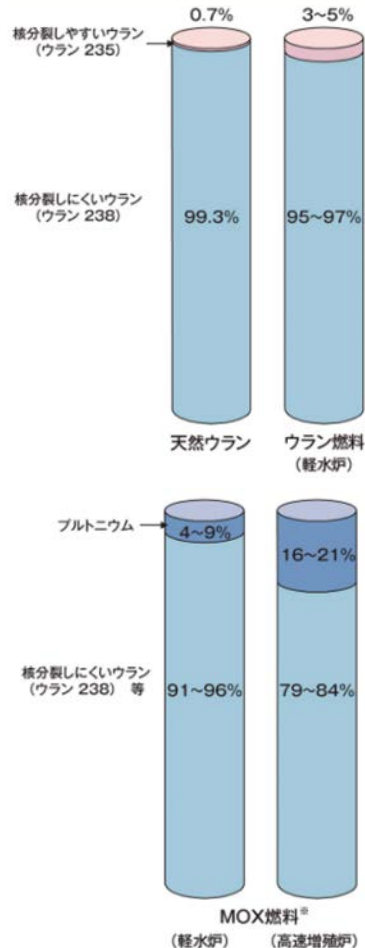
3-2 フルMOX ABWRから 軽水冷却高速炉RBWRへの発展

RBWR: Resource-renewable BWR

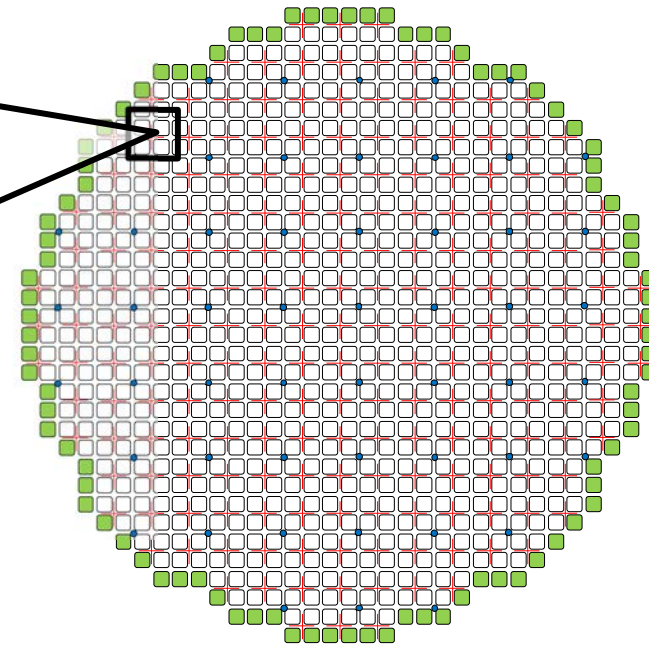


MOX燃料；
ウラン・プルトニウム混合酸化物
燃料（Mixed Oxide Fuel）

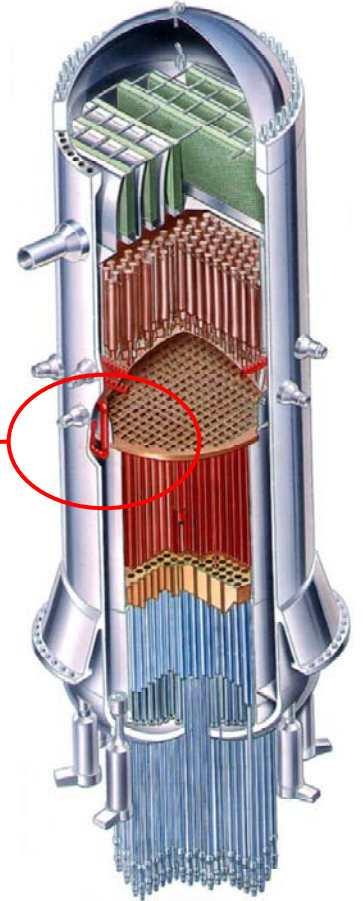
- BWRは、全炉心に満遍なく制御棒を配置した十分な炉停止余裕により、現設計のまま全炉心にプルトニウムを装荷することが可能。
⇒ 大間に採用，建設中



ABWR炉心の断面図



□ : 燃料集合体×872体
+ : 制御棒×205体



出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

	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

RBWR (軽水冷却高速炉)

【特徴】

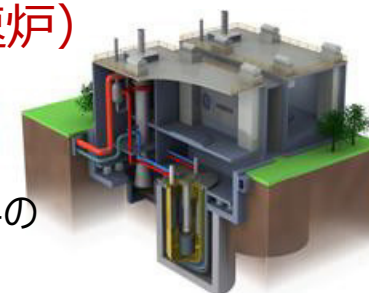
- 既存BWRを活用し炉心燃料技術で実現
- プルサーマルを高度化し、再利用に適した使用済みMOX燃料の組成で核分裂性プルトニウムを温存



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

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

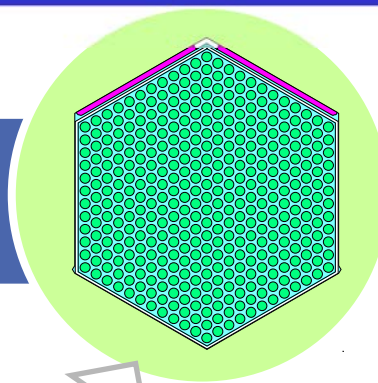
住民：信頼性
廃棄物対策

事業者：経済性
発電コスト低減

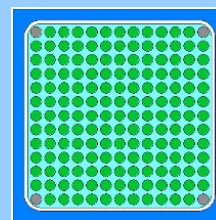
国：燃料サイクル推進
国際公約の遵守(Pu削減)
資源有効利用
長半減期核種低減

六角格子燃料
高速炉サイクル実現

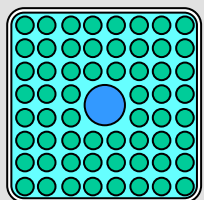
- 次世代再処理
(多重リサイクル)



四角格子燃料
プルサーマル高度化

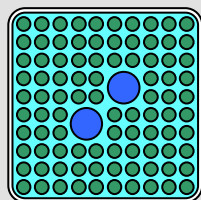


プルサーマル
Pu利用



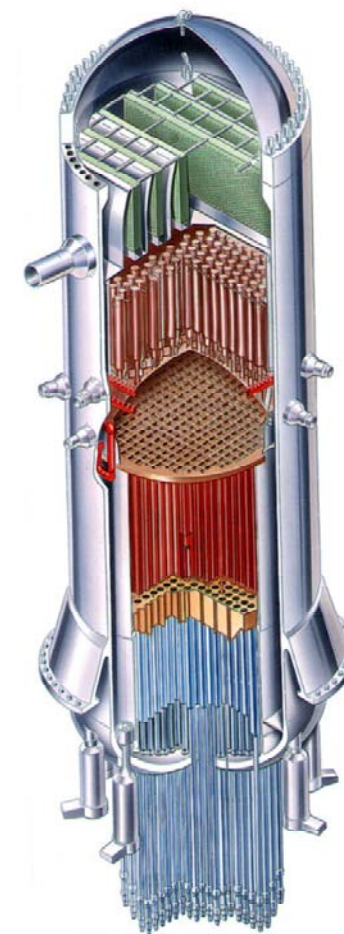
8×8MOX

最新燃料

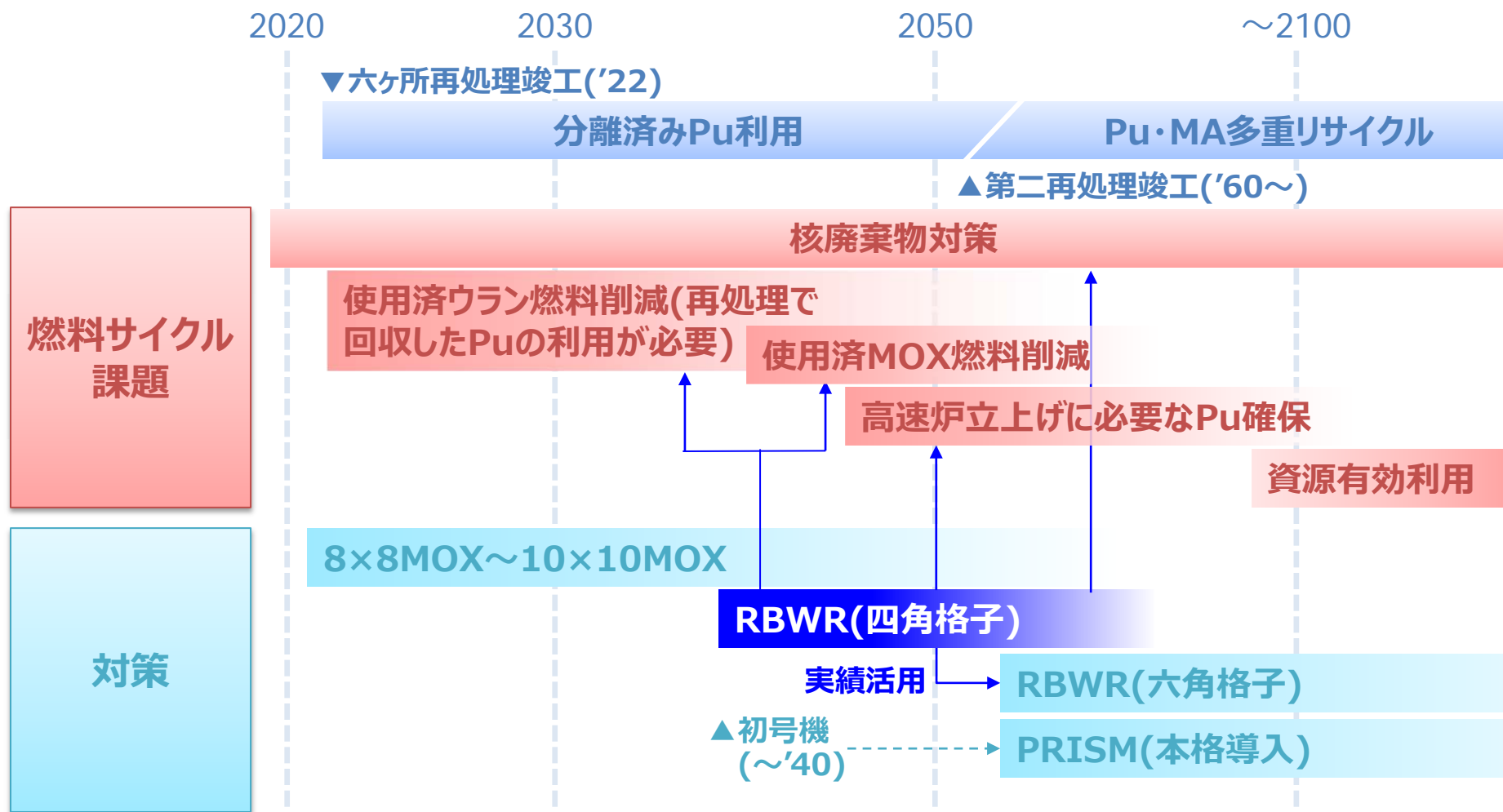


10×10MOX

- 既設炉に適用可能
- 既存の再処理・MOX
燃料技術利用



- 使用済燃料の減容を促進しつつ、高速炉立上げに必要なPuを確保



MA: マイナーアクチノイド(Pu以外の超ウラン元素) LLFP: 長寿命核分裂生成物

3-3 金属燃料小型Na冷却高速炉PRISMの開発

PRISM: Power Reactor Innovative Small Module

➤ 米国EBR-II実績をベースにGEが開発

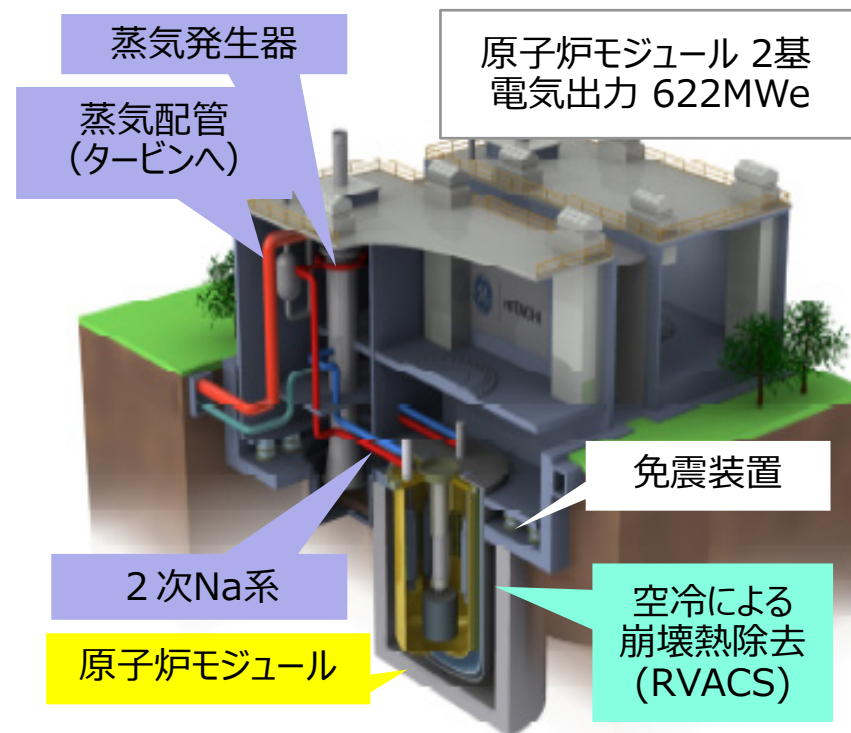
基本仕様 (MOD-B) : 出力・構成にオプション(*)

- ・ ナトリウム冷却タンク型モジュール炉
- ・ 金属燃料 (サイト内燃料製造・再処理)
- ・ 発電所 : パワーブロック×3基 (1866MWe)
- ・ パワーブロック : 原子炉モジュール2基+タービン1基
- ・ 原子炉 : 311MWe/840MWt (熱効率37%)
[もんじゅ : 280MWe/714MWt (熱効率39%)]

PRISMの特長 :

- ① 高い安全性・信頼性
 - 金属燃料の固有安全性
 - 受動的安全性
 - ・ 全自然循環による受動的崩壊熱除去 他
- ② 高い経済性
 - 原子炉容器の工場製作、モジュールの現地輸送
 - モジュール半同時建設による建設工期短縮
- ③ 高い環境負荷低減能力
 - 高速中性子による高いTRU消滅性能
- ④ 高い核不拡散性
 - 金属燃料の乾式再処理におけるPu非分離

原子炉モジュール(*)	MOD-A (小型)	MOD-B (中型)	S-PRISM (大型)
原子炉熱出力 (MWt)	471	840	1000
原子炉電気出力 (MWe)	165	311	380
原子炉容器径 (m)	~6.6	~9.6	~9.1



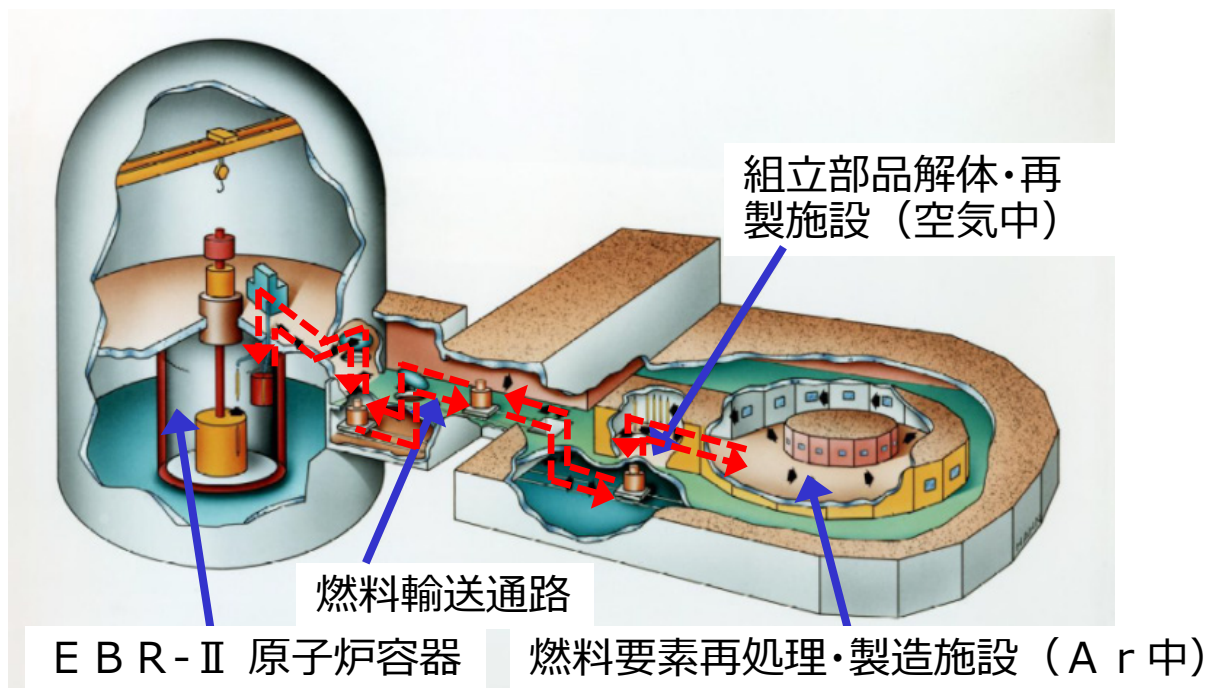
PRISMパワーブロック概要図

➤ IFR (Integral Fast Reactor) :

米国アルゴンヌ国立研究所(ANL)が1960年代に提唱した核燃料サイクルと高速炉を同一サイトに統合して設置する概念で、IFRを含むALMR (Advanced Liquid Metal Reactor) 計画という国家プロジェクトとして発展した。金属燃料炉心のNa冷却高速実験炉(EBR-II)での高速炉と乾式再処理技術の実績をベースとしている。(高レベル廃棄物の減容、高い核不拡散性による国際協力の推進)

➤ GEにより、PRISMの概念設計を構築

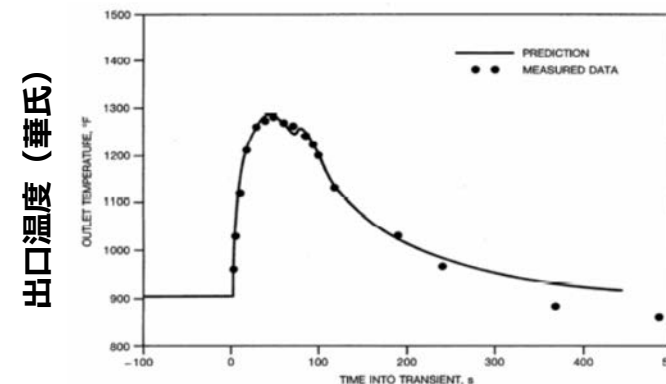
➤ 1994年、NRC事前安全評価 (NUREG-1368)



IFRの構成例 (EBR-IIと乾式サイクル施設)

EBR-IIの主要仕様

- ・場所：アイダホ
- ・運転期間：1964～1994
- ・ナトリウム冷却タンク型高速炉
- ・金属燃料炉心
- ・熱出力：62.5 MW
- ・電気出力：20 MW
- ・原子炉と燃料サイクルの統合システム



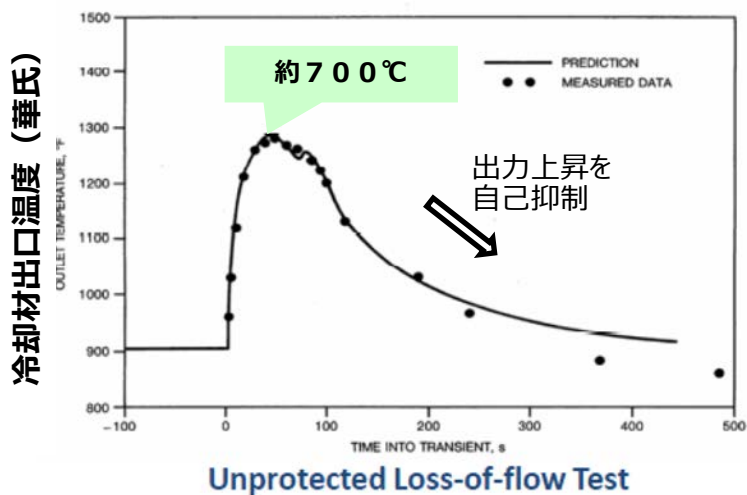
Unprotected Loss-of-flow Test

EBR-II ULOF*実験結果 (1986/4)

* ULOF : 炉停止失敗を伴う流量喪失事象

金属燃料による固有安全性

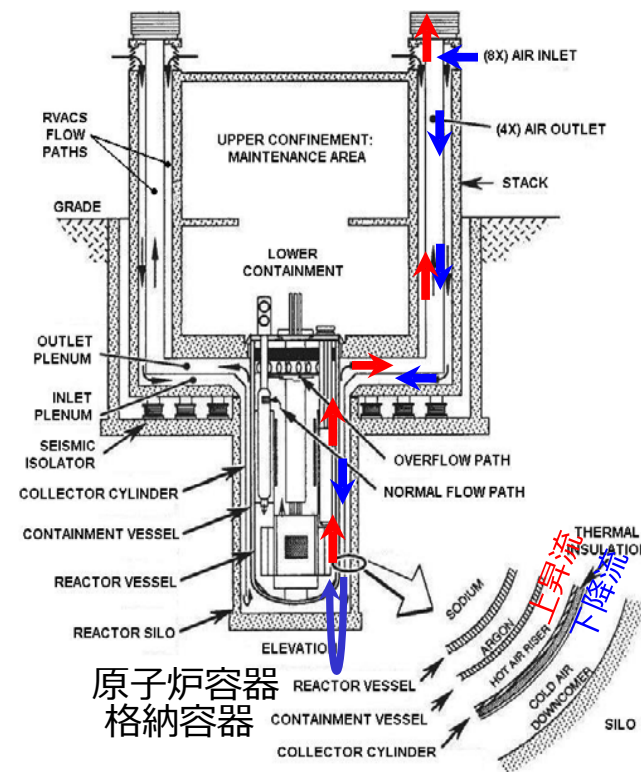
高い熱伝導度により異常時の冷却材温度上昇が速やかに燃料に伝達⇒熱膨張による負の反応度フィードバックで出力を自己抑制



同型の米国実験炉EBR-IIの実績
(炉心流量減少時スクラム失敗模擬実験
(1986/4) 結果)

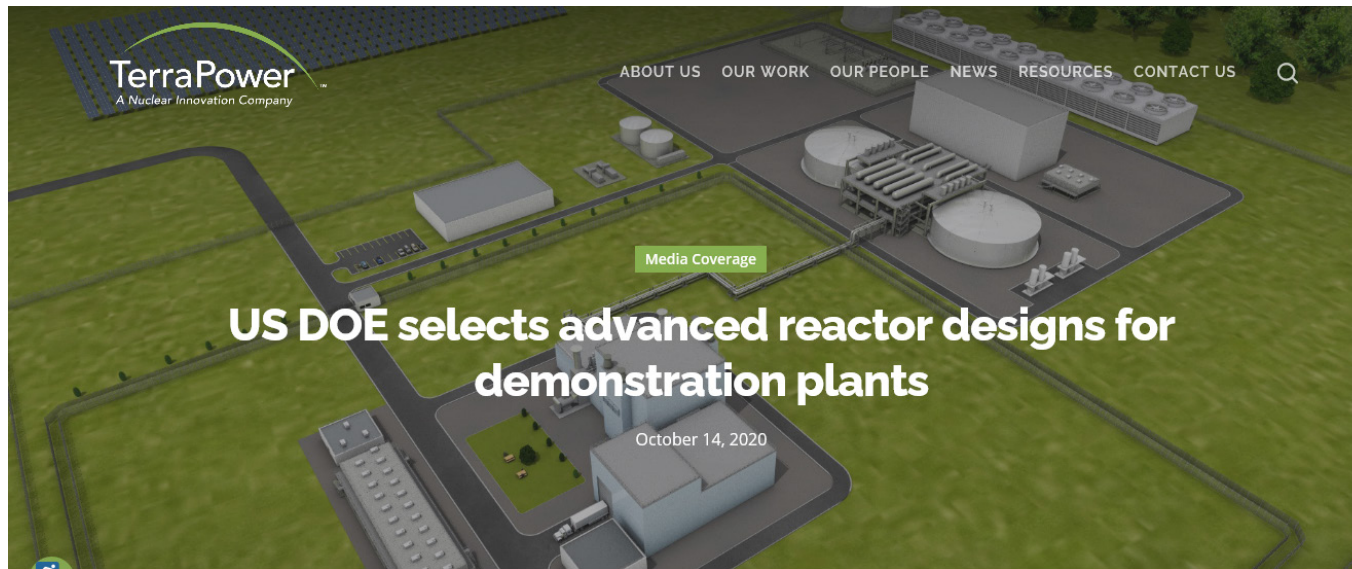
空冷による崩壊熱除去 (RVACS)

異常時には炉内のNaが膨張し炉壁側に移行⇒炉壁外側から空気の自然循環により除熱⇒電源、運転操作不要で崩壊熱を長期冷却



革新的技術により電源、運転員操作を要しない事故時安全性を実現

- 米国DOEが、Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP) 2基のうち1基にPRISMをベースとしたNatriumを選定



TerraPower will demonstrate the Natrium sodium-cooled fast reactor, which has been developed in partnership with GE-Hitachi. The high-operating temperature of the Natrium reactor, coupled with thermal energy storage, will allow the plant to provide flexible electricity output that complements variable renewable generation such as wind and solar, the U.S. Department of Energy said.

Source: World Nuclear News

出典) TerraPower社ホームページ <https://www.terrapower.com/us-doe-selects-advanced-reactor-designs/>

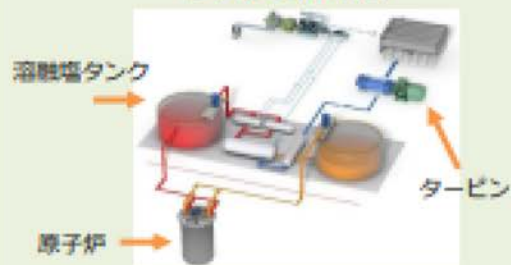
【参考】高速炉：ビル・ゲイツ氏のテラパワー社と協力覚書締結

- テラパワー社は2028年「Natrium炉」運開目指し、米エネルギー省補助金（最大2,000億円）獲得。
- 日本に対しては、「常陽」「もんじゅ」の経験等に期待。JAEA保有の試験設備にも関心。
- 本年1月26日にテラパワー・日本原子力開発機構（JAEA）・三菱重工業・MFBR間で覚書を締結。
- 本覚書に基づき、2022年春・夏頃の本契約に向け、議論を継続していく。 ※MFBR：三菱FBRシステムズ株式会社

<特徴>

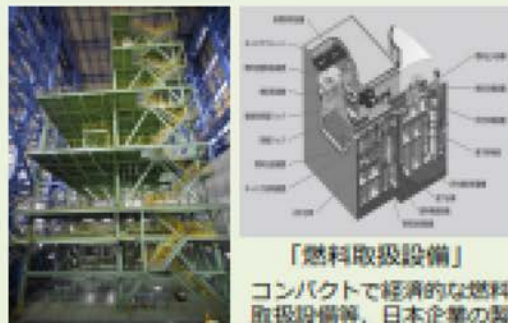
- ・ 小型ナトリウム冷却高速炉(34.5万kW)
- ・ 米西部ワイオミング州に立地予定。
(石炭火力の代替を想定)
- ・ ナトリウムは熱を伝えやすく、全電源喪失時にも自然循環で除熱可能。
- ・ 蓄熱システムを組み合わせ、負荷追従が可能（再エネとの親和性あり）。

システム概念図



<協力の可能性のある分野>

- ・ 「常陽」「もんじゅ」等で、日本が保有する高速炉のノウハウや試験設備(※)
- (※)JAEA保有の大型ナトリウム試験設備 (AtheNa) 等
アテナ
- ・ 日本企業が持つ機器設計・製造技術



世界でも希な大型設備。
ナトリウムの挙動を評価可能。

<ビルゲイツ氏の発言>

- ・ 原子力は、気候変動対策において理想的なエネルギー。
- ・ 事故のリスクは、イノベーションによって解決可能。
- ・ テラパワーは第4世代原子炉を開発し、安全性は非常に高い。世間の認識を変えるには劇的に違うものを出す必要。
- ・ 「Natrium」はエネルギー産業の「ゲームチェンジャー」になる。

※原子力エネルギー会議での講演及びワイオミング州メディアへのビデオメッセージ (2021年6月) より引用



38



4. まとめ

日立は、立地柔軟性・経済性・資源持続性等の社会的要請に応える新型炉として、**BWRX-300**、**RBWR**、**PRISM**を開発しています。

- **BWRX-300**：小型化・簡素化により安全性と経済性の両立を目指した次世代小型軽水炉（電気出力300MW級）。
- **RBWR**：現行のABWRを発展させ、超ウラン元素燃焼や高転換を、既設炉へのバックフィットも含め早期に実現する概念。
- **PRISM**：固有安全性を追求した金属燃料・液体金属冷却の革新的高速炉。米国では実証炉(Natrium™)の建設も計画されている。

日米英国際協力の枠組み、大学・国立研究機関等と連携し、これらの炉を開発を推進します。

HITACHI



END

日立の新型炉開発

カーボンニュートラルと燃料サイクルへの貢献

2022/7/18

日立GEニュークリア・エナジー株式会社