

# 三菱革新軽水炉開発の取組み

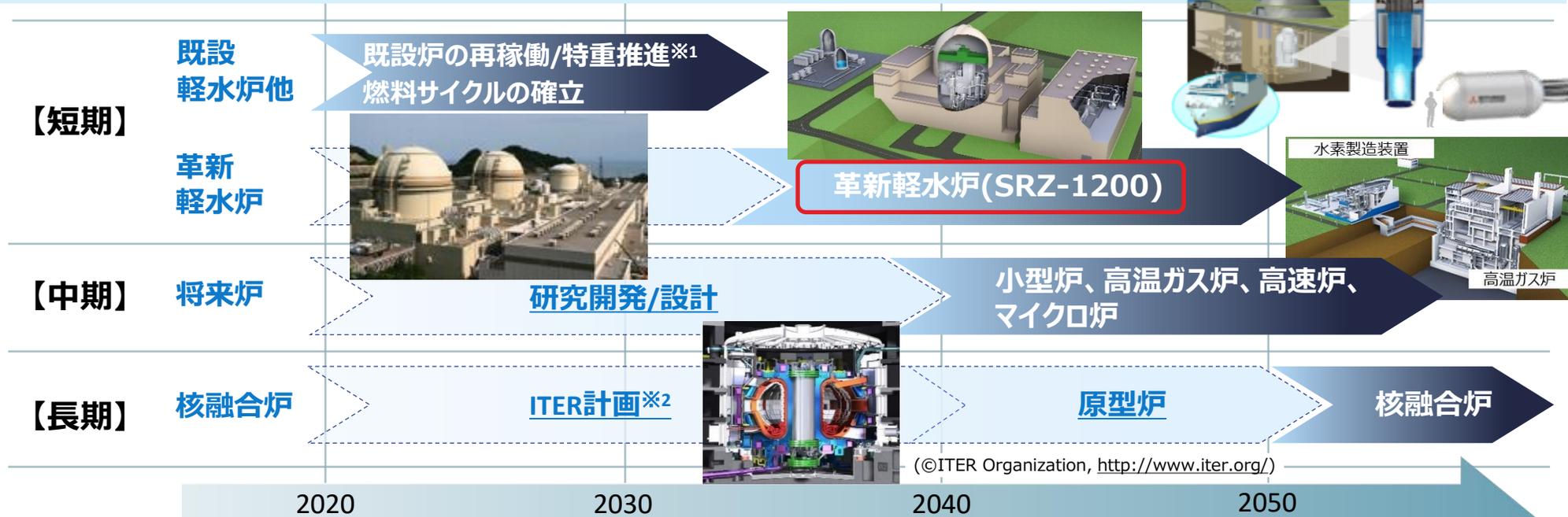
原子力小委員会 第5回革新炉WG

2022年10月24日

三菱重工業株式会社 原子力セグメント

# カーボンニュートラルに向けた原子力事業の取組み

- 原子力は**カーボンフリー**かつ**大規模・安定電源**であり、**エネルギーセキュリティ上の観点も含め重要なベースロード電源**。2050年カーボンニュートラルの達成に向け、**将来に亘って原子力の活用は必須**
- 一方、国内では東日本大震災以降、国民の原子力に対する信頼は低下しており、**その信頼回復が最重要課題**。当社は**既設プラントの再稼働支援、再稼働後の安全安定運転の実現**に向けて**安全性向上に努めていく**と共に、**燃料サイクルの確立**に取り組むことで**信頼回復**に努める
- **世界最高水準の安全性**を実現する**革新軽水炉(SRZ-1200)**の**早期実用化**により**カーボンニュートラルとエネルギー安定供給の実現**に向けて貢献していく
- 更に**将来の多様化する社会ニーズ**に応じて、**小型炉、高温ガス炉、高速炉等**について**開発を進めるとともに、恒久的な“夢のエネルギー源”である核融合炉**にも挑戦していく



※1 特定重大事故等対処施設：プラントとは完全に独立し、航空機衝突やテロ等の際に安全に運転停止できる大規模施設

※2 ITER計画：核融合炉実験炉実現に向け7極(日,EU,米,露,中,韓,印)政府により進められている大型国際PJ

- 2030年代半ばの実用化（国内新設プラント）を目標に、高い経済性に加え、革新技術を採用した世界最高水準の安全性を実現する革新軽水炉「SRZ-1200」の開発を推進
- 国内産業基盤維持の観点からも早期の新設プラント実現が必須と認識
- そこで培った技術を活かして、将来の多様化する社会ニーズに応えるべく、小型軽水炉の開発も推進

~2020	2030	2040	2050~
<div style="background-color: #00AEEF; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">現行の規制基準ベース</div>			
<div style="background-color: #76923C; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">炉型に合わせた規制基準の整備</div>			
<h3>革新軽水炉 “SRZ-1200”</h3>  <p>電気出力:120万kWe級</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• プルーブンな技術をベースに革新技術導入により大幅に安全性を向上。更に、高い経済性も確保</li> <li>• 現行の規制基準に適合、実用化段階</li> <li>• 万一の事故時にも放射能影響を発電所内に留める</li> </ul>	
<div style="background-color: #76923C; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">将来の多様化するニーズに応じて分散化</div>		<h3>小型軽水炉（分散型電源）</h3>  <p>電気出力:30万kWe級</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主機一体型炉他の採用による物量低減</li> <li>• 技術実証試験等が必要</li> <li>• 炉型に合わせた規制基準の整備が必要</li> </ul>			

# SRZ-1200

## 超安全・安心

地震／津波／テロに高い耐性を持ち、放射性物質を閉じ込め、影響を発電所内に限定

## 地球に優しく

CO<sub>2</sub>を出さず、柔軟な出力調整で再生可能エネルギーと共存

## 大規模な電気を安定供給

国際情勢、天候に左右されない準国産エネルギー

名称のSRZにはそれぞれ以下の意味を含めています。

- S** : **S**upreme **S**afety (超安全)、**S**ustainability (持続可能性)
- R** : **R**esilient (しなやかで強靱な) **l**ight **w**ater **R**eactor (軽水炉)
- Z** : **Z**ero Carbon (CO<sub>2</sub> 排出ゼロ) で社会に貢献する**究極型 (Z)**

➤ 地震・津波その他自然災害への対応、大規模航空機衝突・テロ対策、シビアアクシデント対策等の世界最高水準の安全対策に加え、再生可能エネルギーとの共存等の社会ニーズを踏まえたプラント機能向上

## 放射性物質放出防止

万一の格納容器ベント時にも放射性希ガスを吸着・捕捉、専用タンク内に閉じ込め、事故の影響を発電所敷地内に限定

## 冷却・閉じ込め機能強化

炉心・格納容器冷却システム等の多重性・多様性を強化

## パッシブ安全設備の導入

電源を必要としないパッシブ安全設備も用いて炉心冷却、溶融炉心対策

## 溶融炉心対策

万一の炉心溶融時にもデブリを専用設備（コアキャッチャ）に捕捉し、最終障壁である格納容器外への放出を防止

## セキュリティ高度化

最先端技術を適用したサイバーセキュリティ

## 大型航空機衝突対策

航空機衝突に耐えうる格納容器の強靱化

## 耐震性向上

地下式構造(岩盤埋込)

## 津波、その他自然災害への耐性

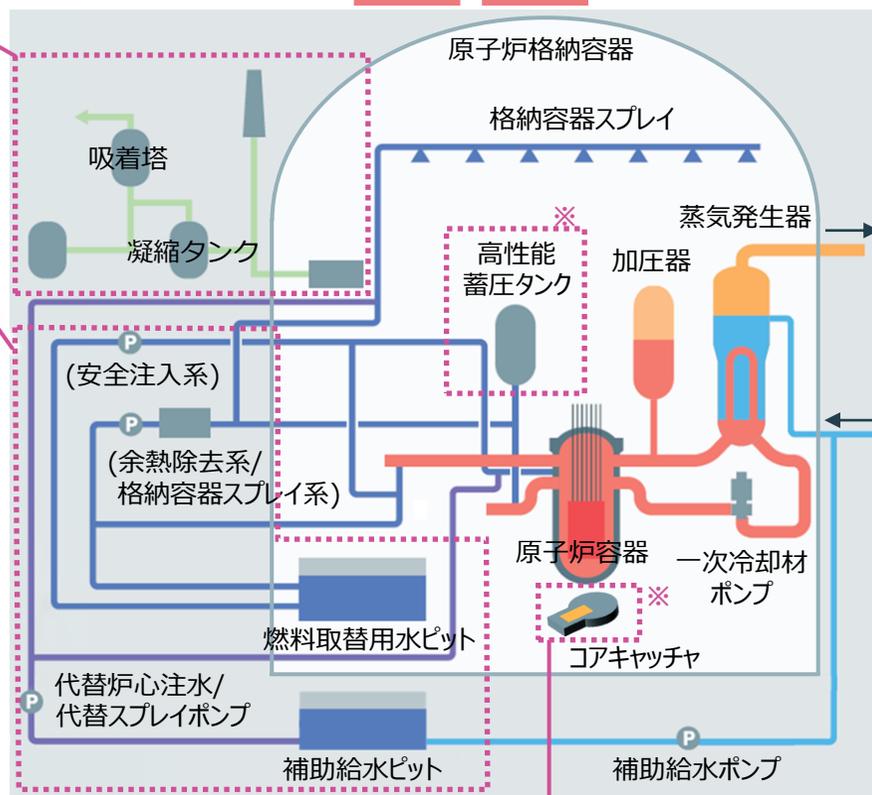
津波・竜巻・台風・火山等の自然災害への耐性を強化

## 再生可能エネルギーとの共存

出力調整機能（周波数制御、負荷追従）の強化

## カーボンフリー水素の供給

カーボンフリー電力による水素製造（水電解）



- 国内の**厳しい地震条件**に対して**余裕を持った耐震設計**、**津波影響を受けないドライサイト設計**を採用し、**地震・津波への耐性強化**
- その他の外部事象（台風や火山等）に対しても、**建屋頑健化**や**火山灰侵入防止対策**等によって耐性強化

## 耐震性強化

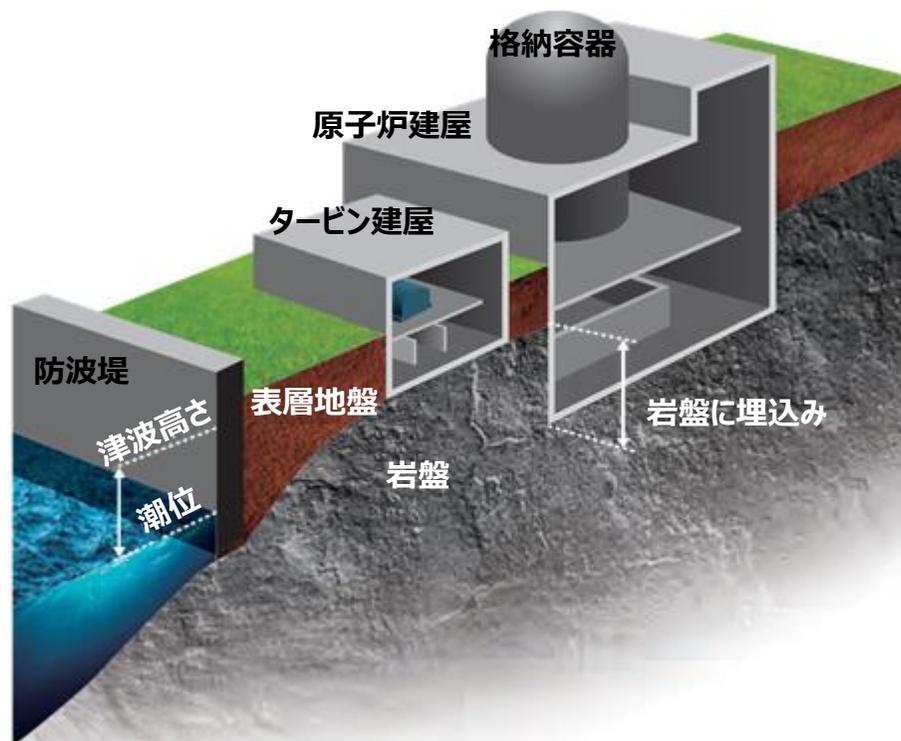
- **強固な岩盤に建屋を埋込み**
- **重要建屋の低重心化**

## 津波耐性強化

- **基準津波よりも高いグラウンドレベル**
- **建屋水密化（地上1階層）**

## その他外部事象（台風、火山事象等）への耐性強化

- **建屋の頑健化（壁厚増強）**
- **火山灰侵入防止対策等**



- 強化した外部遮蔽壁と鋼製格納容器による2重構造の採用などの大型航空機衝突(APC※1)への対策や、最先端技術を活用してサイバー攻撃への対応などテロ対策を強化

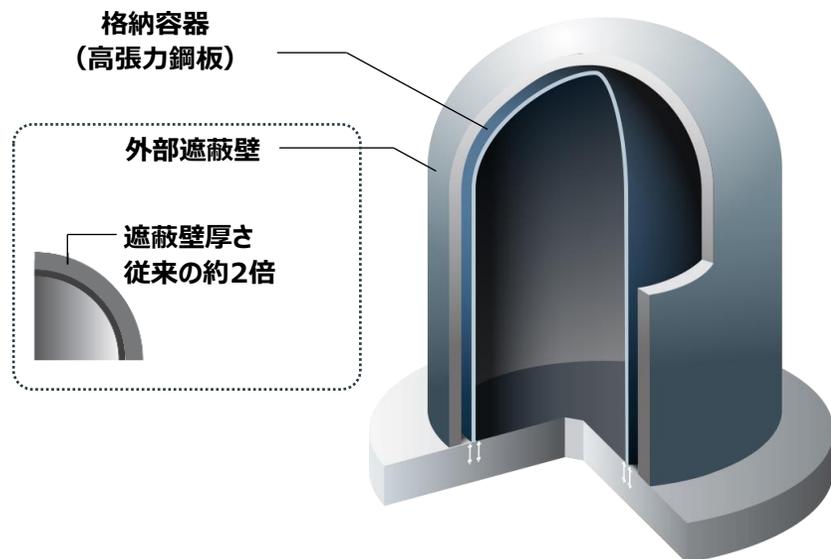
※1 : Air Plane Crash

## 格納容器破損防護対策

### ■ 外部遮蔽壁と鋼製格納容器の2重構造を採用

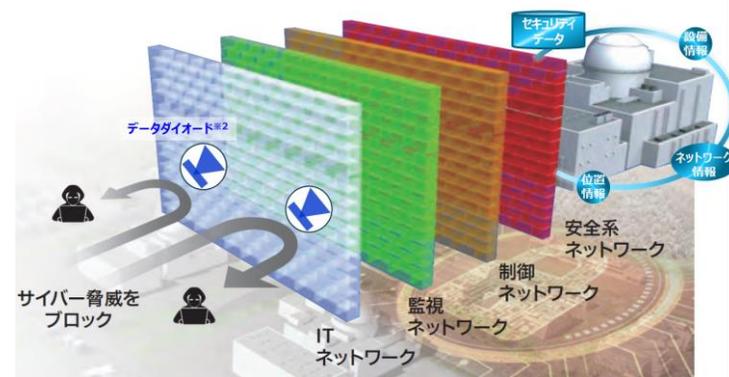
**外部遮蔽壁**：航空機衝突に耐える強靱性

**格納容器**：高張力鋼板採用による耐圧・耐漏洩機能



## サイバーセキュリティ強化

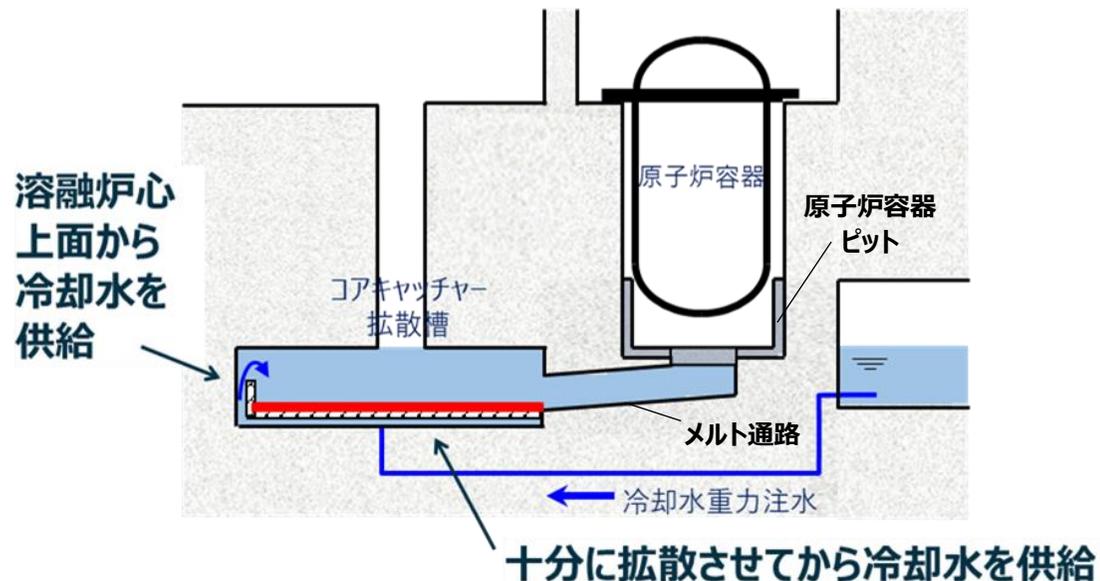
- データダイオードを用いた多層化構成の物理的対策により発電所への電子的侵入を阻止
- 発電所内の重要な設備（プラントコンピュータ等）を外部脅威から防護



※2 データダイオード：データを物理的に一方向にしか通信できないようにするネットワークデバイス

- 溶融炉心対策として、**世界最新技術であるコアキャッチャを採用**
- 万一の炉心溶融時でも原子炉容器から落下する溶融炉心を下部にある専用ピットで受止め、専用の拡散槽内へ薄く拡げ、外部水源からの注水により**溶融炉心を格納容器内で保持・冷却**

## 世界最新技術であるコアキャッチャの採用

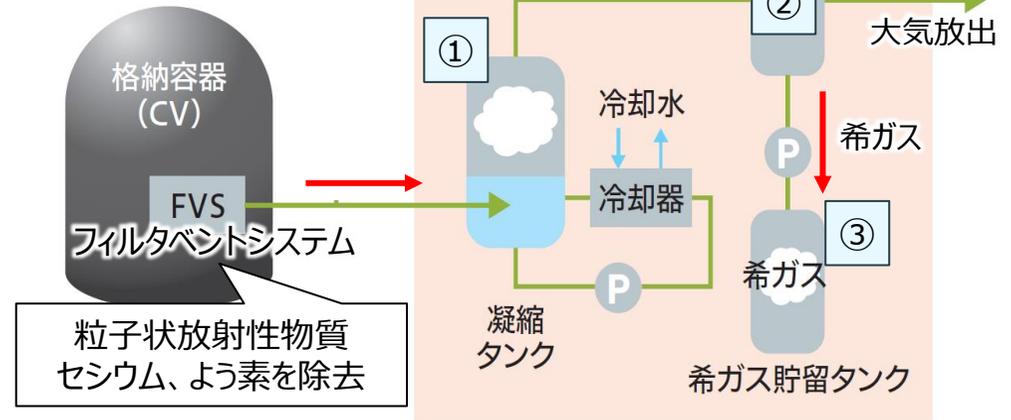
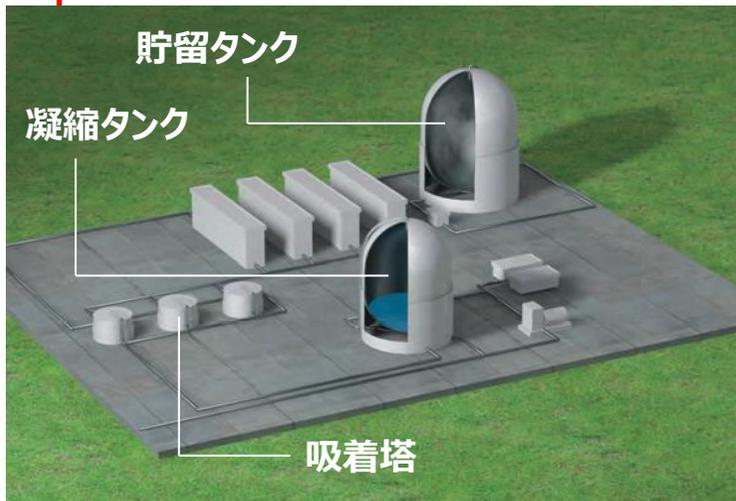
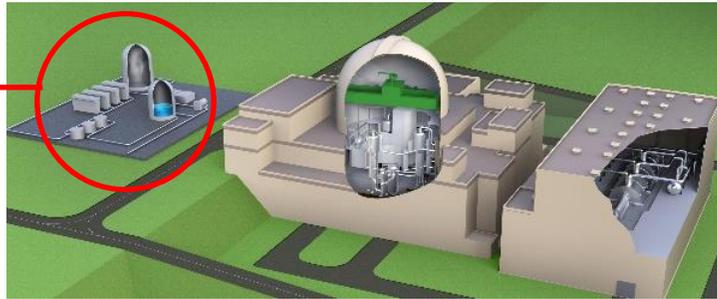


**溶融炉心を格納容器内で確実に冷却・保持**

- ① 原子炉容器から落下した溶融炉心を原子炉容器ピット内で一定時間保持
- ② 溶融炉心をピット内で犠牲材コンクリートと混合し、流れやすい状態に変化
- ③ 溶融炉心をメルト通路（耐熱レンガ）を通じて拡散槽内に十分に拡散
- ④ 外部水源からの注水により、溶融炉心を冷却

- **世界初となる当社独自開発の放射性物質放出防止システムを導入**
- 万一の格納容器ベント操作時においても**放射性希ガス※を分離・貯留し、周辺環境への放射性物質の放出量を極少化**し、事故影響を発電所敷地内に留める ※化学的に安定で一般的に除去が難しい物質（キセノン等）

## 世界初の放射性物質放出防止システムの導入



① ベントガス中の**水蒸気**を**凝縮して除去**

### 凝縮タンク

格納容器からベントしたガス中の蒸気をタンク内で冷却・凝縮

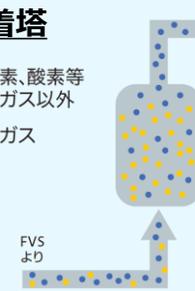


② 選択的に**希ガス**を**吸着・分離**

### 吸着塔

- 窒素、酸素等 希ガス以外
- 希ガス

蒸気を取り除いたベントガスから、吸着材により希ガスを吸着させ分離



③ 希ガスを吸着材から脱離し、**希ガスを専用タンクに貯留**

➤ 国内の新規制基準に適合する新しい安全設計の採用、**多重性・多様性強化**等により、**世界最高水準の安全性、信頼性を実現**

## <世界最高水準の安全性を追求した設備構成>

**安全系設備(炉心冷却/  
CV閉じ込め)の多重性強化**

【既設】 2系列



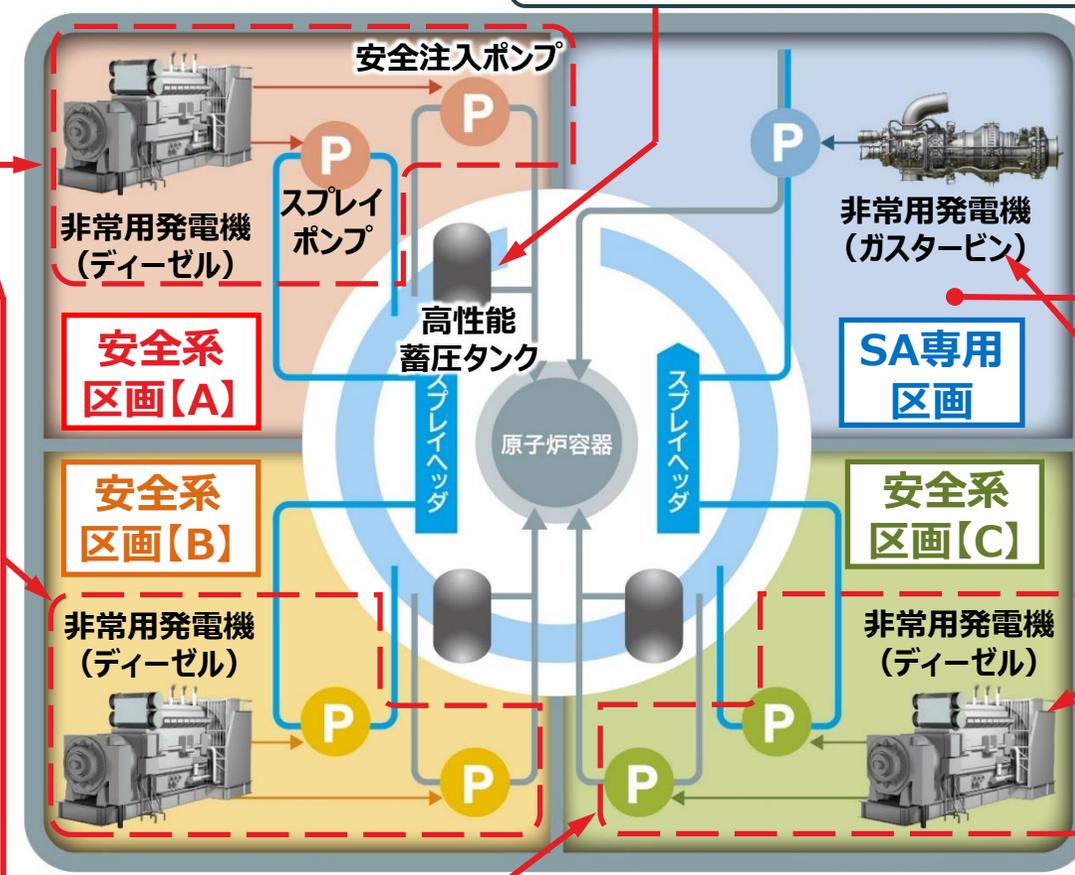
【SRZ】 3系列

**安全系設備を系列ごとに徹底した  
区画分離**

- ・ 区画A、B、Cそれぞれに安全設備を**分散配置**
- ➡ 火災等の**同一要因による安全系設備全喪失を防止**

**パッシブ安全設備の導入**

(パッシブ・アクティブ設備のベストミックス：次頁参照)



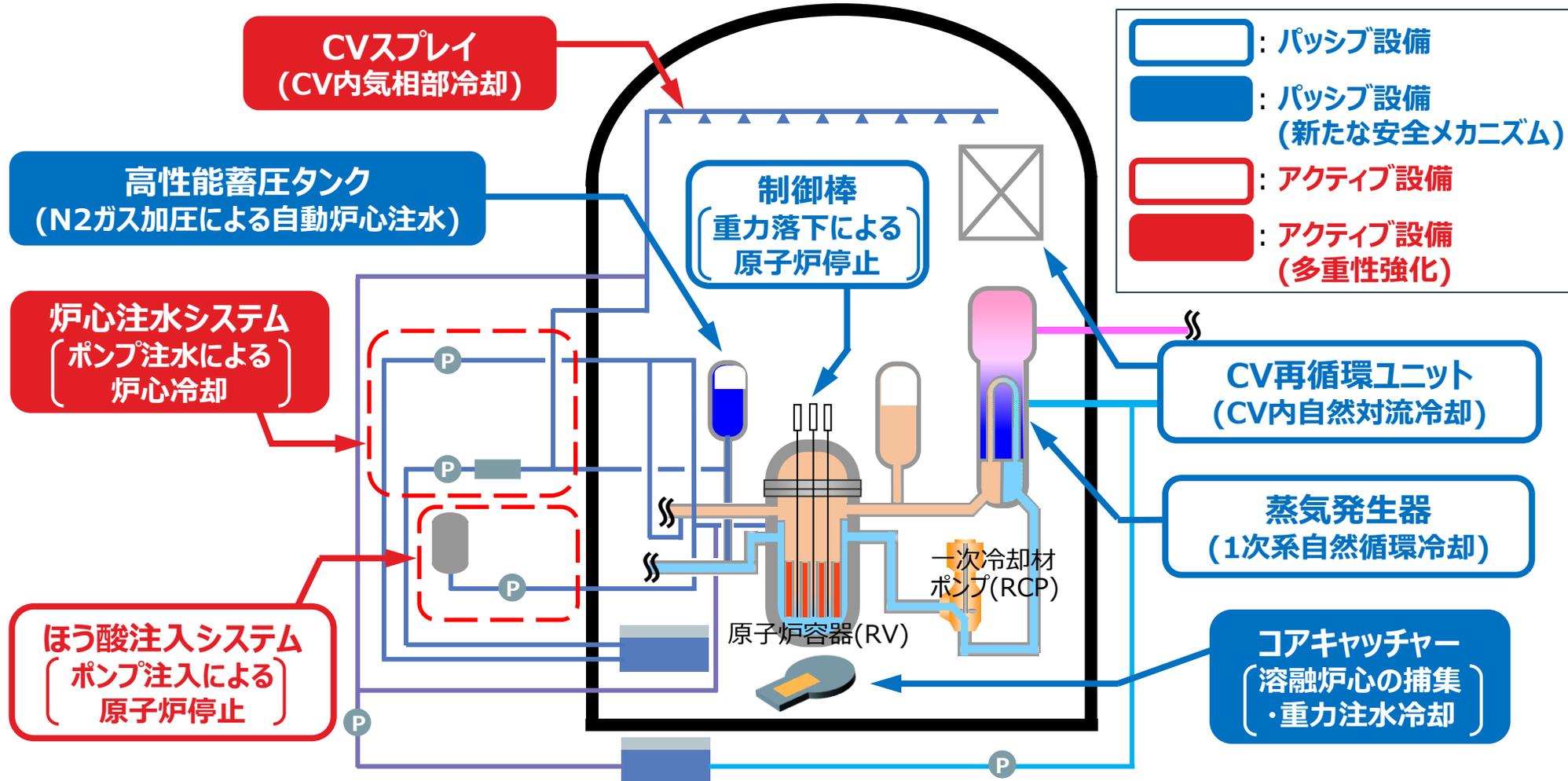
**シビアアクシデント  
(SA)専用区画を  
新設**

**安全系設備の  
多様性強化  
(電源多様化等)**

# 革新軽水炉“SRZ-1200”の特徴 (7/8)

パッシブ・アクティブ設備のベストミックスにより**確実かつ速やかに事故収束を実現、安全性を向上**

- **パッシブ設備**：電源を必要とせず、プラントの状態に応じて**自動作動する設備**
- **アクティブ設備**：電源駆動により安全機能をより強力に発揮し**速やかな事故収束を達成する設備**



- 脱炭素化に向けて再生可能エネルギーが拡大していく中、**ベースロード電源の役割に加え**、火力発電が担ってきた**出力調整・系統安定化にも対応できるように出力調整機能を強化**
- **出力調整の代わりに余剰電力を活用した水素製造も可能**

## 出力調整機能の強化

- 再生可能エネルギー拡大に伴う夜間・荒天時の出力変動や電気系統不安定化に対し、現状は火力で調整
- 原子力の出力調整機能を強化し、系統安定化に貢献

	再エネ	火力	原子力
現状	変動電源	ベースロード + 調整電源	ベースロード電源
将来	変動電源 (発電力量増大)	調整電源 (発電力量減少)	ベースロード + 調整電源 (発電力量維持・増大)

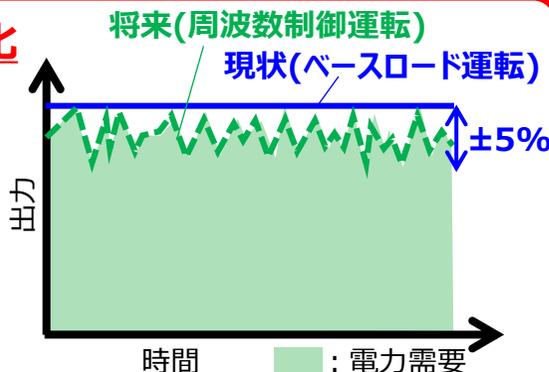
### 原子力の出力調整機能強化

#### 【負荷追従性能】

- 出力調整速度を既設炉の0.8%/分から3%/分に向上（約4倍）

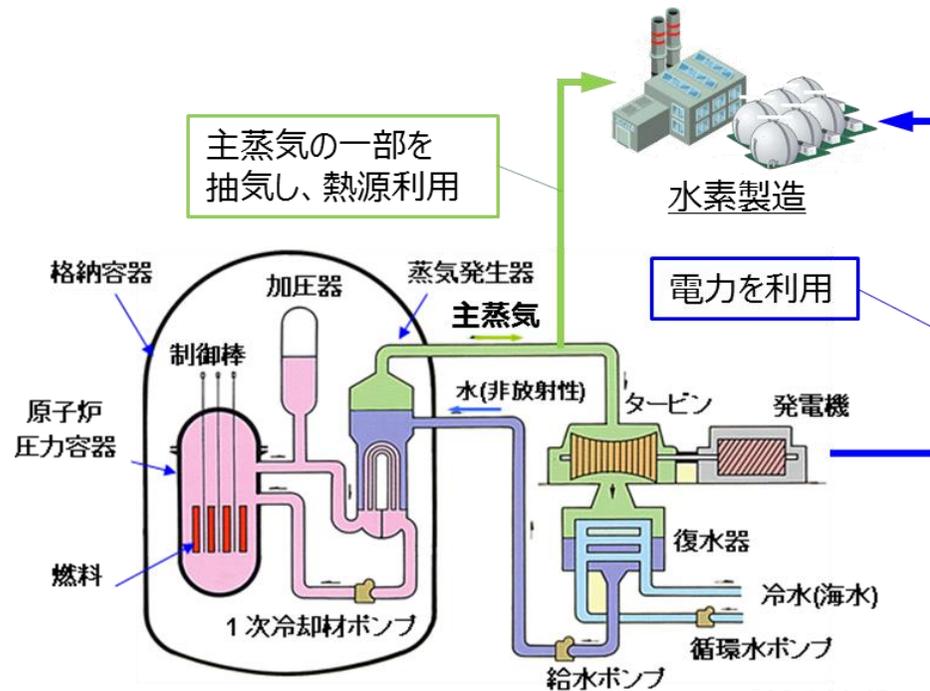
#### 【周波数制御性能】

- 出力調整幅を±3%から±5%に向上



## 軽水炉を活用した水素製造

- 電力を用いて水電解による水素製造
- 主蒸気を抽気し、水素製造の熱源として利用



【検討例】

- 原子力プラントを支える**高度な技術が国内企業に集積**※<sup>1</sup>しており、**産業基盤(技術・人材・サプライチェーン)維持の観点からも早期の新增設が必要**。撤退したサプライヤーの製品については、**内製化や代替サプライヤーの対策**を講じているが、**一民間企業で対応することは限界に近付つつある**状況

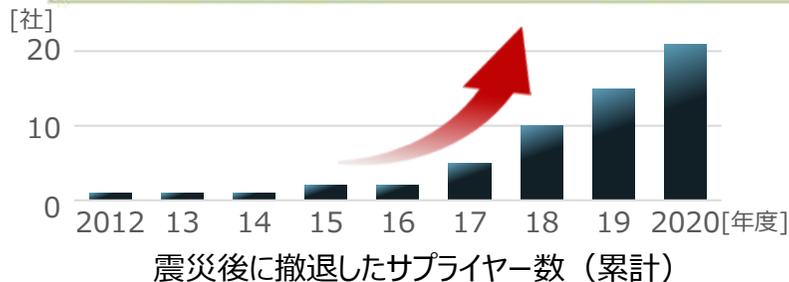
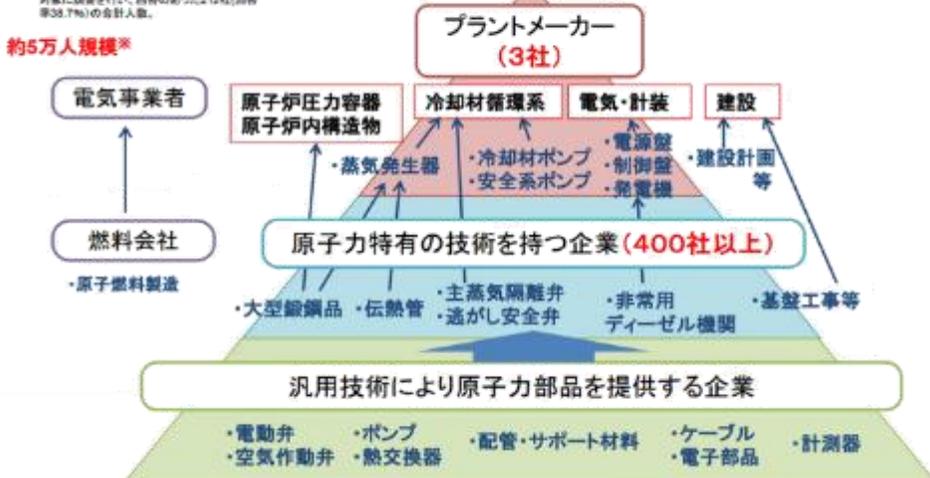
※<sup>1</sup> 日本は、西側諸国の中においては**最高峰の技術・サプライチェーン**を保持

- 原子力は裾野も広く高い技術を有する分野※<sup>2</sup>であり、**長期に亘り培ってきた国産の技術・品質は重要な財産**であり、他国に劣後する訳にはいかず、**新增設によってこれを維持・向上する必要**あり

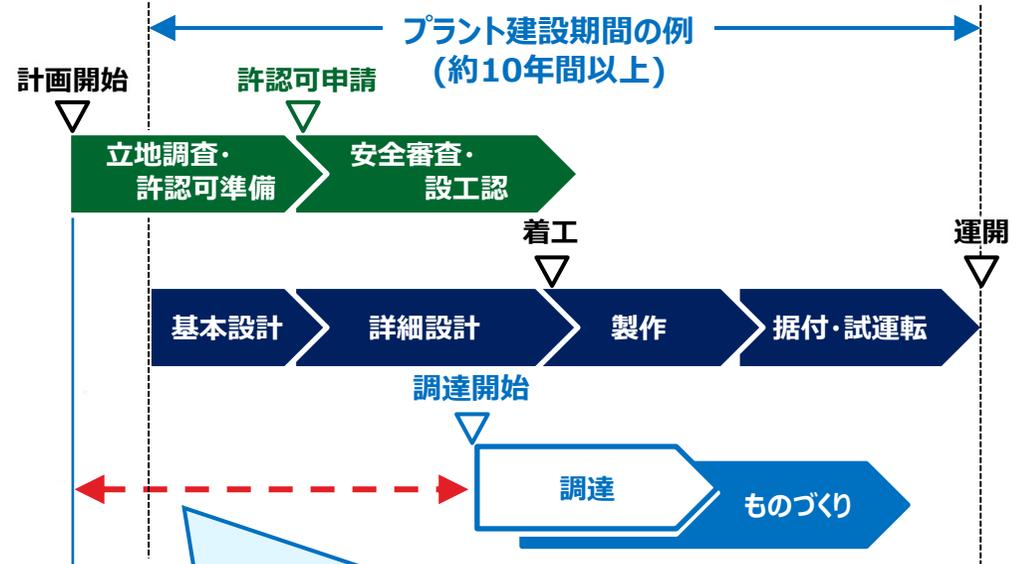
※<sup>2</sup> 原子力特有の技術を持つ企業は**約400社以上**。2011年以降厳しい経営状態が続き、事業撤退は拡大傾向

※ 社団法人原子力産業協会「原子力発電に係る産業動向調査2019報告書」より会員企業及びその他の原子力関連企業合計547社を対象に調査を行い、回答があった212社(回答率38.7%)の合計人数。

## 原子力発電のサプライチェーン



## 原子力プラントの建設工程の例

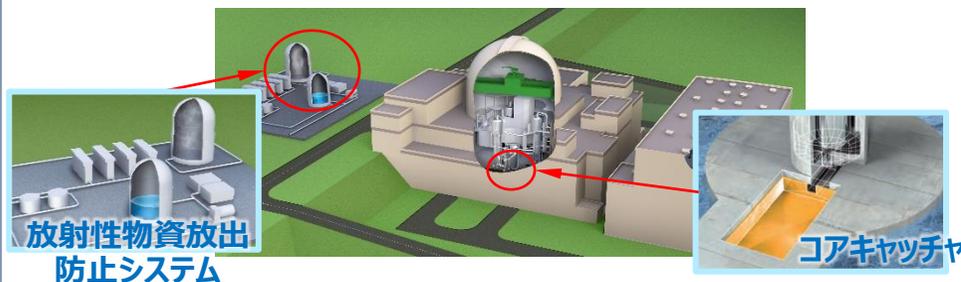


プラント建設は10年以上の長期間に亘るプロジェクトであるため、**今、新設計画が開始しても、製品の調達・ものづくりは少なくとも6~7年遅れて開始**となる

➤ 革新軽水炉“SRZ-1200”に加え、将来の社会的ニーズに応える将来炉（小型軽水炉、高温ガス炉、高速炉、マイクロ炉）の開発も推進中

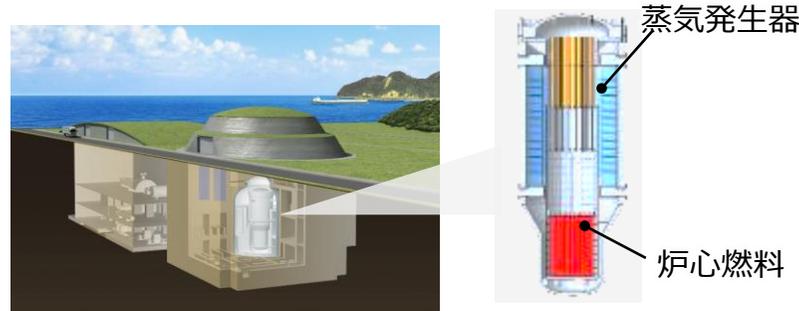
## 革新軽水炉SRZ-1200

- ✓ 既存グリッド向発電(電気出力:120万kW)
- ✓ 2030年代半ばの実用化を目標に、高い経済性に加え、革新技術を採用した世界最高水準の安全性を実現



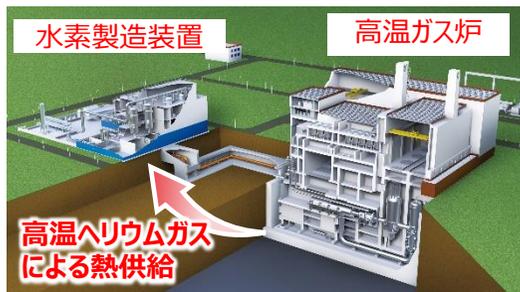
## 小型軽水炉

- ✓ 分散型、小規模グリッド向発電（電気出力:30万kW）
- ✓ 安全系のフルパッシブ化、主機一体型炉他の採用



## 高温ガス炉

- ✓ 超高温（900℃以上）の核熱利用により大量かつ安定的な水素製造を実現
- ✓ 鉄鋼業界など産業界の脱炭素化に貢献



## 高速炉

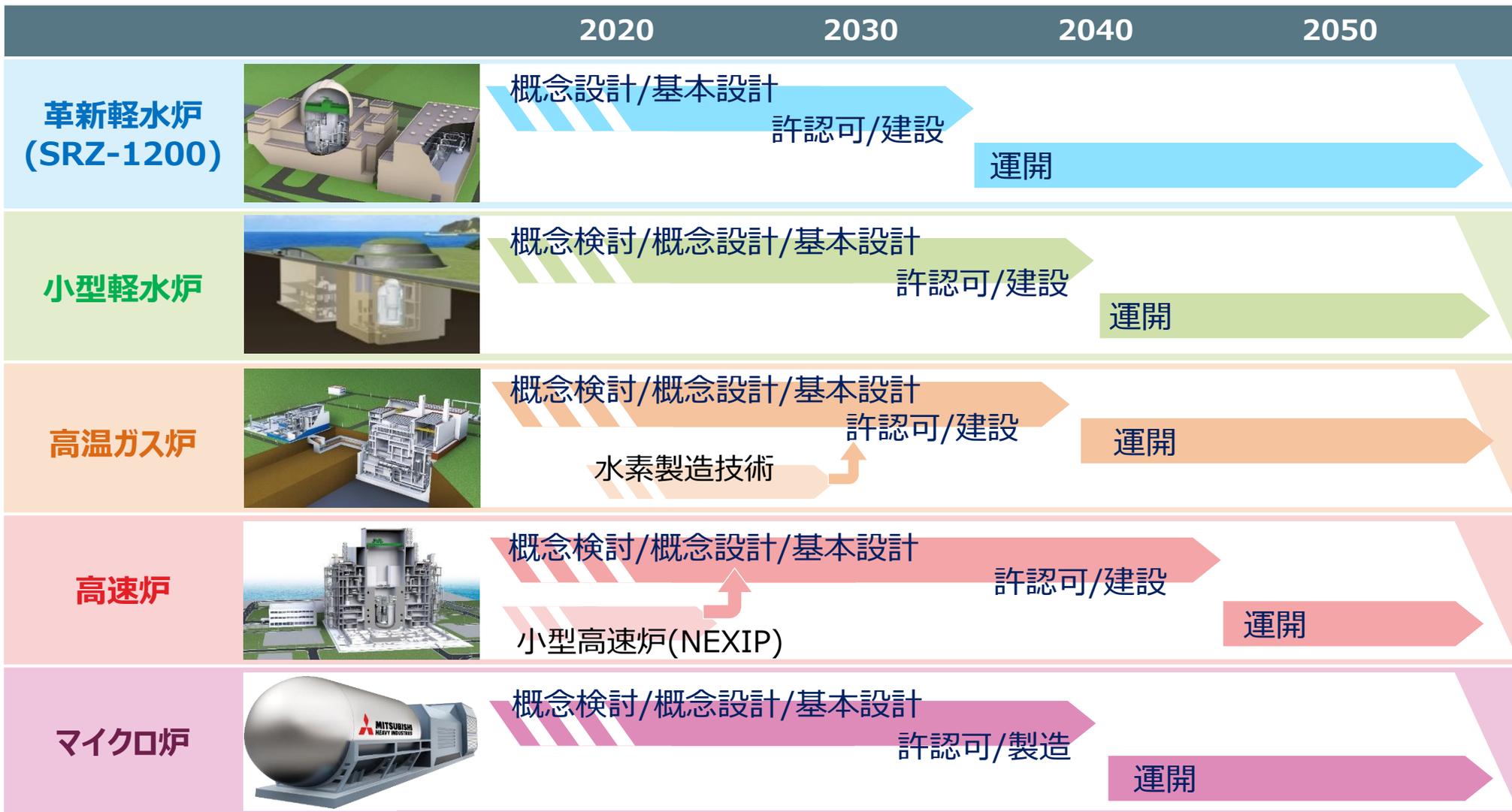
- ✓ 核燃料サイクルの実現により、資源の有効活用、高レベル放射性廃棄物の減容化、有害度の低減が可能



## マイクロ炉

- ✓ 離島・僻地・災害地用電源など多目的利用を可能とするポータブル原子炉
- ✓ 三菱独自設計の全固体原子炉





- ◆ 原子力は確立したカーボンフリーかつ大規模・安定電源であり、安全性の確保を大前提に将来に亘って原子力の活用が必須と認識
- ◆ プラントメーカーがビジネスパートナーとともに長期に亘り培ってきた国産の技術・品質は日本にとって貴重な財産であり、原子力は技術自給率維持の点からも重要な電源
- ◆ これまでに培った技術・サプライチェーンを絶やさず、将来に亘って原子力を活用していくためにも早期のプラント新增設・リプレースが必要
- ◆ 当社は革新軽水炉“SRZ-1200”を早期実用化し、将来のカーボンニュートラル社会とエネルギー安定供給の両立に貢献していく
- ◆ 福島第一原子力発電所事故を踏まえ、プラントメーカーとして既設プラントの再稼働、再稼働後の安全安定運転の実現を通じて継続的な安全性向上に努めていくとともに、世界最高水準の安全性を実現する“SRZ-1200”の設計を推進していく

