

早稲田大学・東京都市大学 共同原子力専攻

第20回未来エネルギーフォーラム・シンポジウム～軽水炉の未来とそれを実現する革新技術～

革新軽水炉SRZ-1200[®]開発の取組み

2025年12月13日

三菱重工業株式会社 原子力セグメント

1. 三菱重工 原子力事業の概要

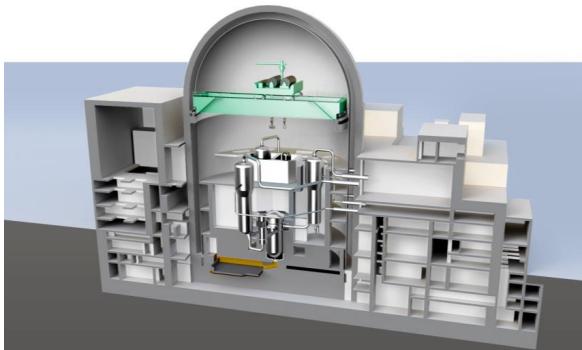
■ 国内軽水炉の安全・安定運転だけでなく、革新軽水炉開発/海外機器供給/燃料サイクル/将来炉開発等ほぼ全ての領域で事業展開

〈国内軽水炉プラント〉



軽水炉	PWR AS	再稼働/特重/定検・保守、プラント運用高度化、燃料他
	BWR	BWR再稼働/特重工事、保守
	海外	仏国向け等を中心にコンポーネント輸出
	革新軽水炉	新設向けSRZ-1200(中型炉)開発
廃止措置		軽水炉廃止、福島廃炉(デブリ取出し他)
サ燃料 サイクル	RRP/J-MOX	RRP/J-MOX建設工事、竣工後保守
	キャスク	使用済燃料の輸送・貯蔵用キャスクの製造
将来炉	高速炉	中核企業として高速炉開発推進
	高温ガス炉	水素製造の熱源向けに開発推進
	小型軽水炉	分散型/小規模グリッド向け電源として開発
	核融合	国際プロジェクト(ITER)に参画し開発推進
新分野		原子力技術の展開(液体水素昇圧ポンプ、防爆ロボット他)

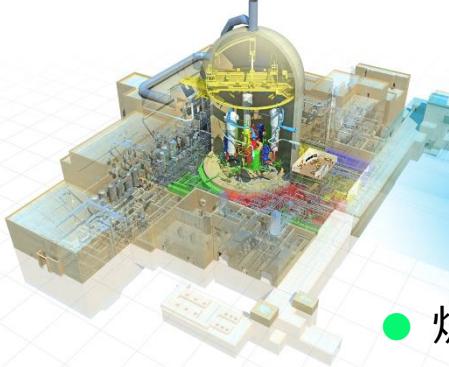
〈革新軽水炉SRZ-1200〉



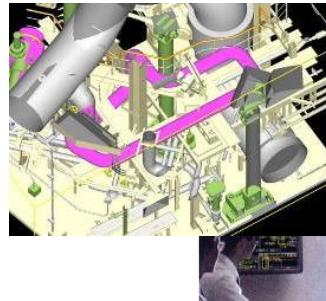
RRP：六ヶ所再処理工場、J-MOX：MOX燃料工場

■ 研究開発・設計・製作・据付/試運転・保全まで一貫した対応が可能な総合プラントメーカー

● プラント計画



● 3D設計



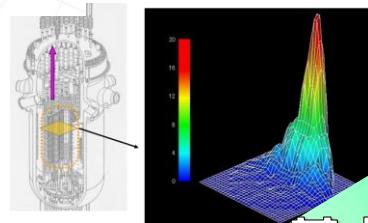
● 運転シミュレータ



● ホットラボ



● 炉心解析



製作 検査



据付 試運転



研究開発

基本設計



● 原子炉容器製作

PJ計画

詳細設計

● 自動溶接

● 発電所建設

保全



■ 1970年の関西電力美浜1号運開以来、**国内加圧水型原子炉（PWR）全24基の建設に携わり**、原子力プラントの**弛まぬ安全性・信頼性向上**に取り組んできた

国内PWRプラント建設

第1世代PWRプラント

- PWR技術の導入
- 主要機器の国産化

1970年
美浜1号運開
(国内初PWR)

第2世代PWRプラント

- 改良標準化
- 信頼性・安全性・稼働率の向上
- 被ばく低減、定検短縮

第3世代PWRプラント

- 経済性の向上
- 運転性・保守性の向上

2009年
泊3号運開
(国内PWR24基目)

発電容量
(万kWe)
2000

美浜1～3号



高浜1～4号



大飯1～4号



敦賀2号



泊1～3号



玄海1～4号



川内1、2号

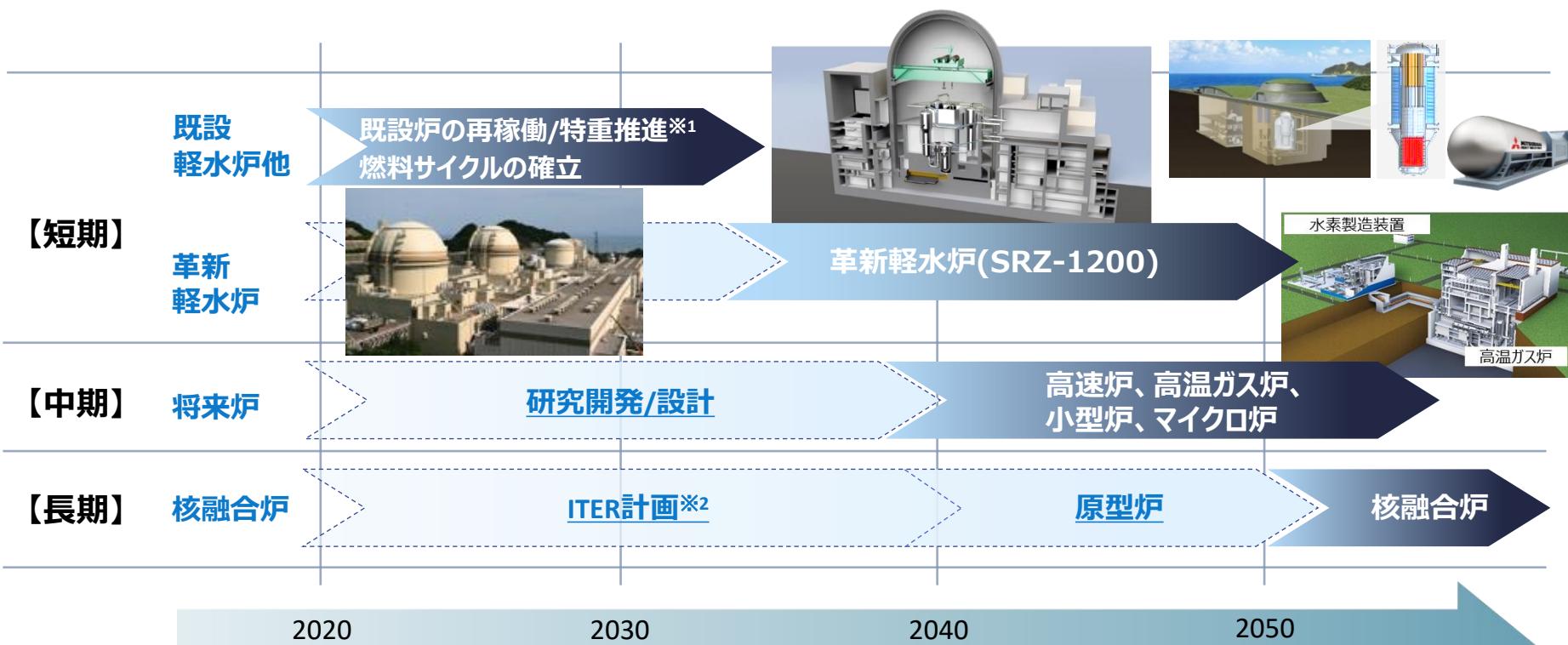


伊方1～3号



[出典:日本原子力発電(株)HP]

- 既設プラントの再稼働/安全・安定運転、燃料サイクル確立に向け、事業者を最大限支援
- 世界最高水準の安全性を実現する革新軽水炉“SRZ-1200”の早期実用化を目指す
- 将来の多様化する社会ニーズに応じて、高速炉、高温ガス炉、小型炉等の開発を進めるとともに、“夢のエネルギー源”である核融合炉にも挑戦



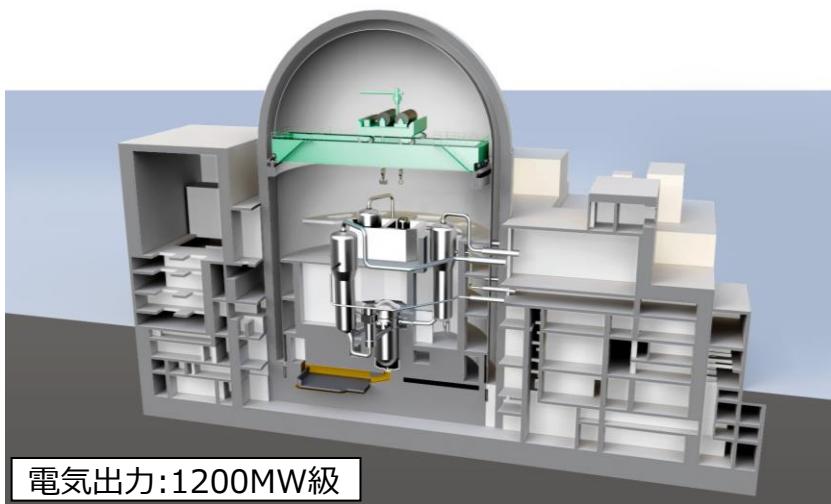
※1 特定重大事故等対処施設：プラントとは完全に独立し、航空機衝突やテロ等の際に安全に運転停止できる大規模施設

※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

2. 革新軽水炉SRZ-1200の開発

- 革新軽水炉SRZ-1200は、**設計段階から組み込んだ安全対策と革新技術の採用により、世界最高水準の安全性**を実現

革新軽水炉 “SRZ-1200”



- 設計段階から組み込んだ安全対策と革新技術導入により大幅に安全性を向上。さらに、高い経済性も確保
- 現行の規制基準に適合し、既に実用化段階

SRZ-1200

■ 超安全

多種多様な安全設備の導入に加え、地震／津波などの自然災害に対する高い耐性

■ 地球に優しく

CO₂を出さず、柔軟な出力調整で再生可能エネルギーと共に存

■ 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込めています。

S : Supreme Safety (超安全)、Sustainability (持続可能性)
R : Resilient (しなやかで強靭な) light water Reactor (軽水炉)
Z : Zero Carbon (CO₂ 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、大型航空機衝突・テロ対策、電源不要の受動的安全システム、シビアアクシデント対策等の世界最高水準の安全対策
- 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

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

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靭化

耐震性向上

建屋頑健化、低重心化等

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

津波、その他自然災害への耐性

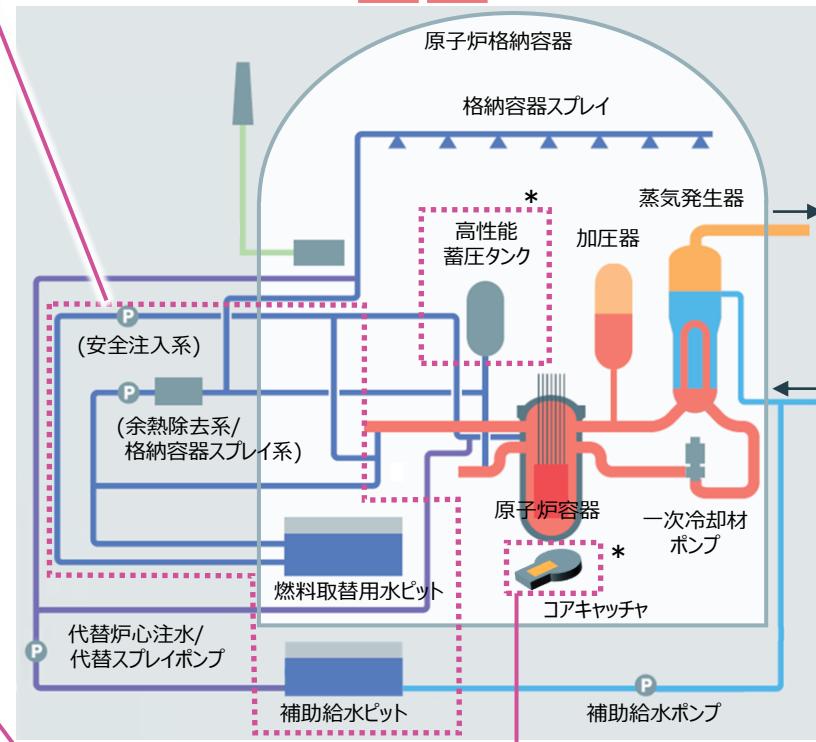
津波・竜巻・台風・火山等の自然災害への耐性を強化

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

再生可能エネルギーとの共存

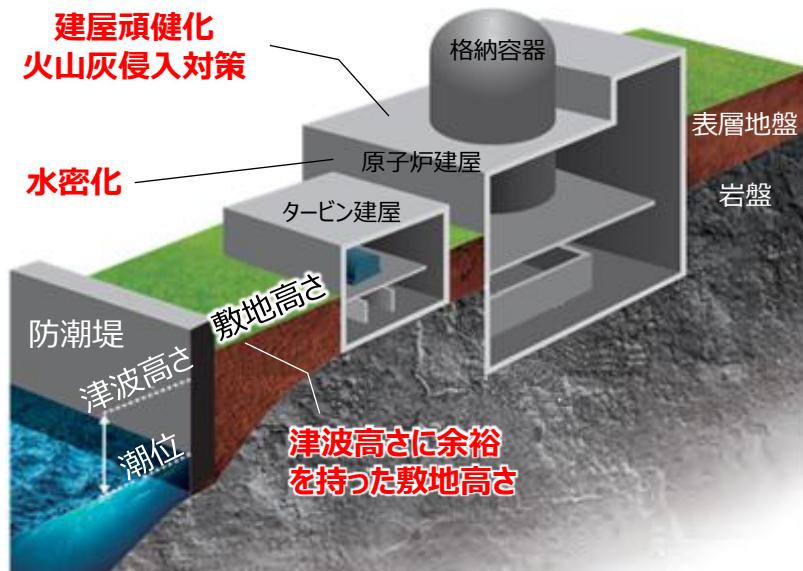
出力調整機能（周波数制御、負荷追従）の強化



- 地震・津波等の自然災害への耐性や大型航空機衝突対策を強化
- 原子炉建屋の頑健化等による耐震性向上、完全ドライサイト設計による津波耐性強化

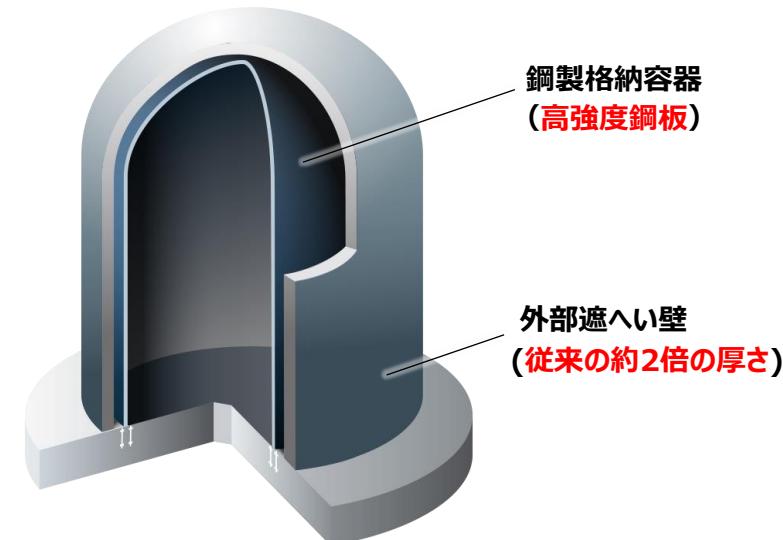
地震・津波等の自然災害への耐性強化

- 耐震性向上：**原子炉建屋を頑健化、低重心化**
- 津波耐性強化：**完全ドライサイト設計（敷地レベルの嵩上げ等）**、建屋水密化
- 台風、竜巻、火山灰侵入防止その他自然災害への耐性も強化



大型航空機衝突対策

- 外部遮へい壁と鋼製格納容器の**2重構造**を採用
 - 外部遮へい壁：航空機衝突に耐えうる強靭性
 - 鋼製格納容器：高強度鋼板採用による耐圧・耐漏洩機能



- 国内の新規制基準へ適合(※)した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

※ シビアアクシデント対策設備、大型航空機衝突/テロ対策設備(特定重大事故等対処施設)の設置等

冷却・閉じ込め機能強化

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

パッシブ安全設備の導入

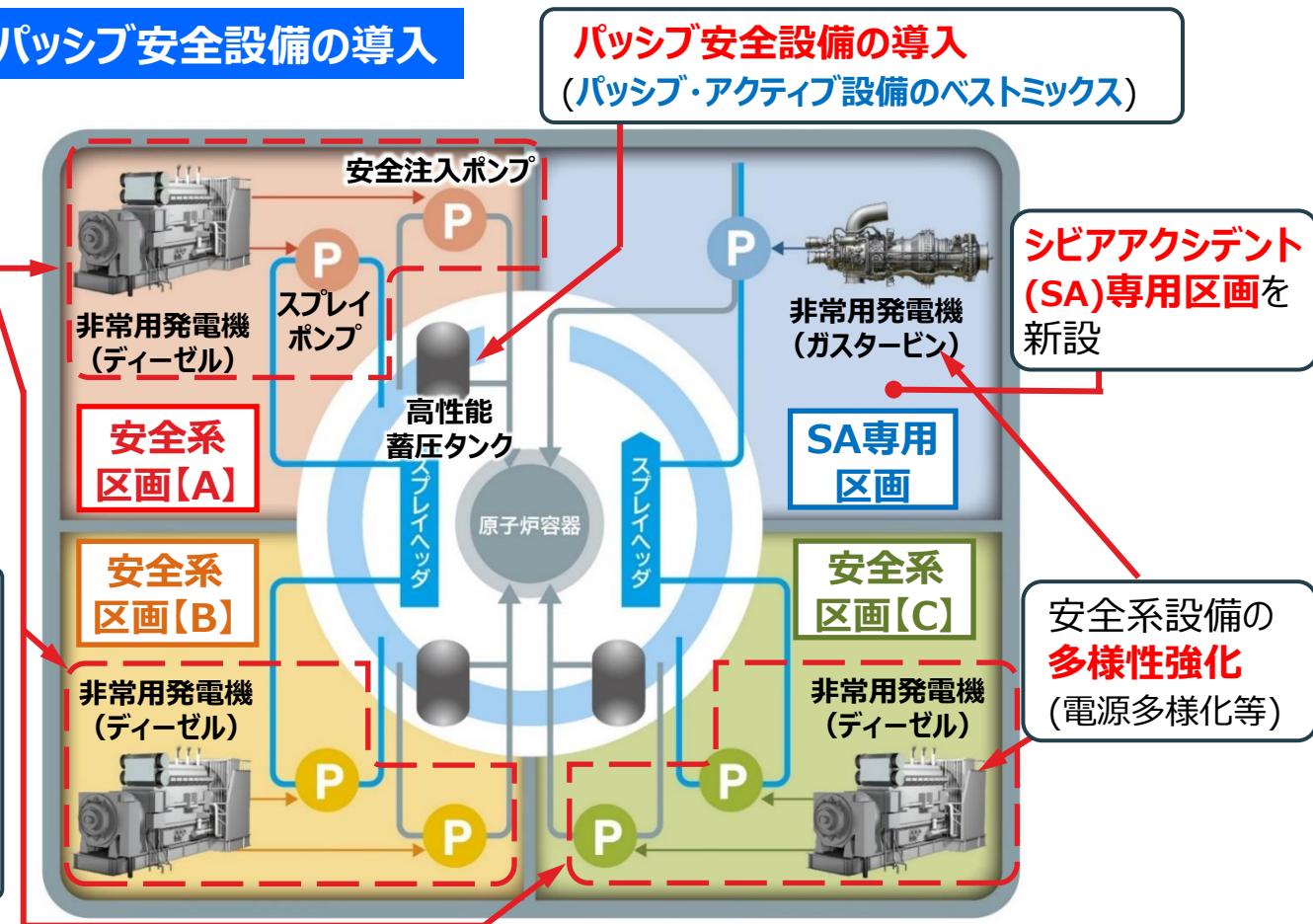
パッシブ安全設備の導入

(パッシブ・アクティブ設備のベストミックス)

シビアアクシデント
(SA)専用区画を
新設

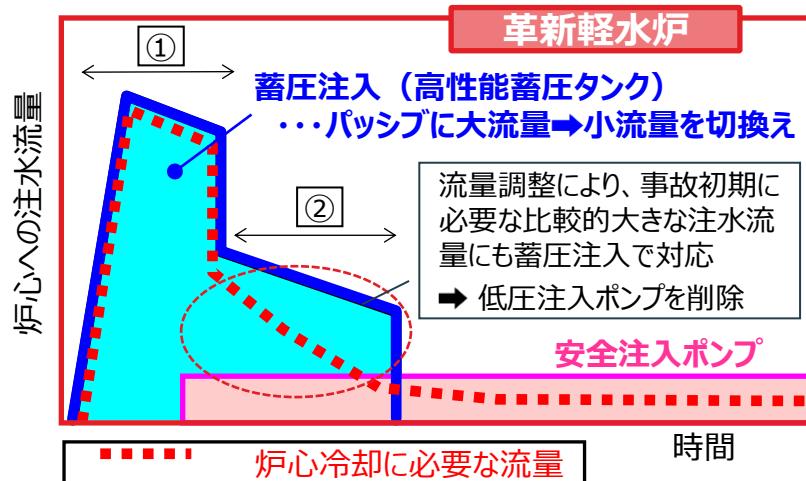
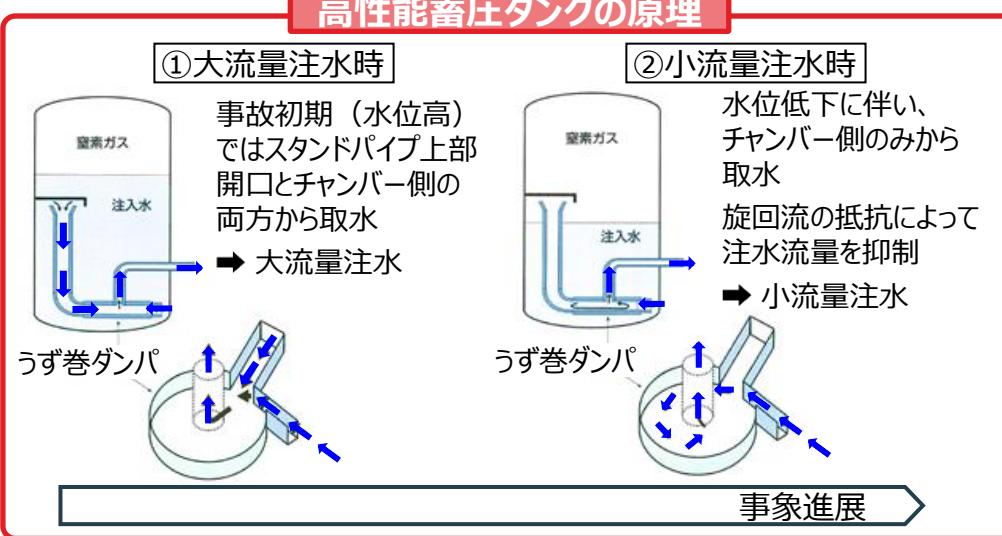
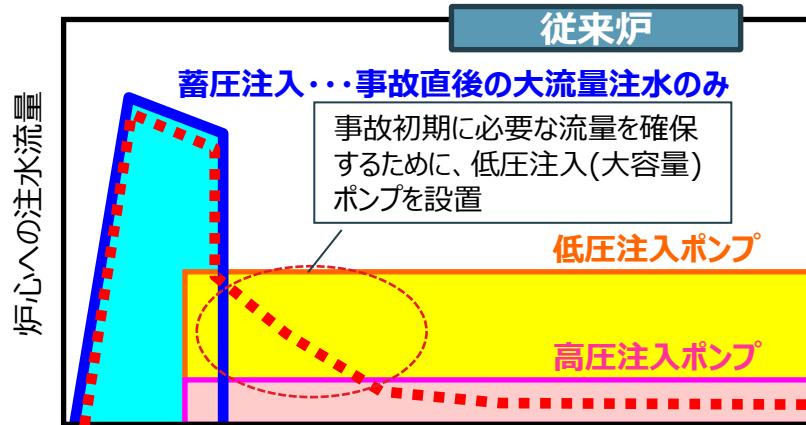
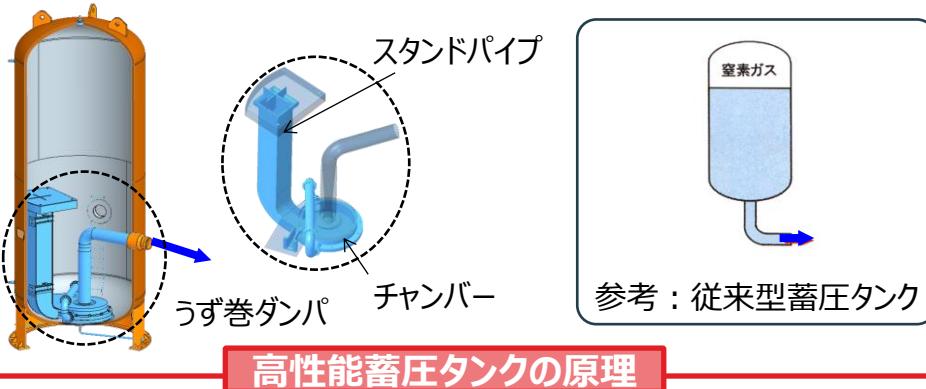
安全系設備を系列ごとに徹底した
区画分離

- ・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



SRZ-1200の特徴：高性能蓄圧タンク

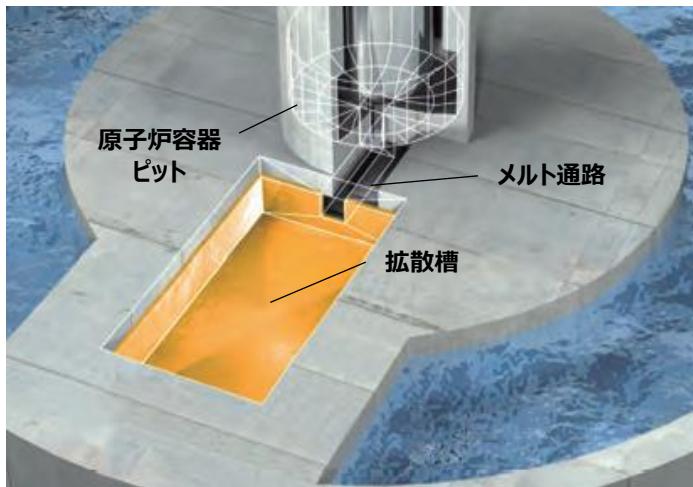
- 一次冷却材配管破断事故時には、窒素ガスで加圧した蓄圧タンクからのパッシブ注水で早期に炉心冷却
- SRZ-1200では、高性能蓄圧タンクのうず巻ダンパ機構により、水位低下に応じてパッシブに大流量から小流量に切替え、炉心冷却に必要な流量のみを一定時間継続して注水可能



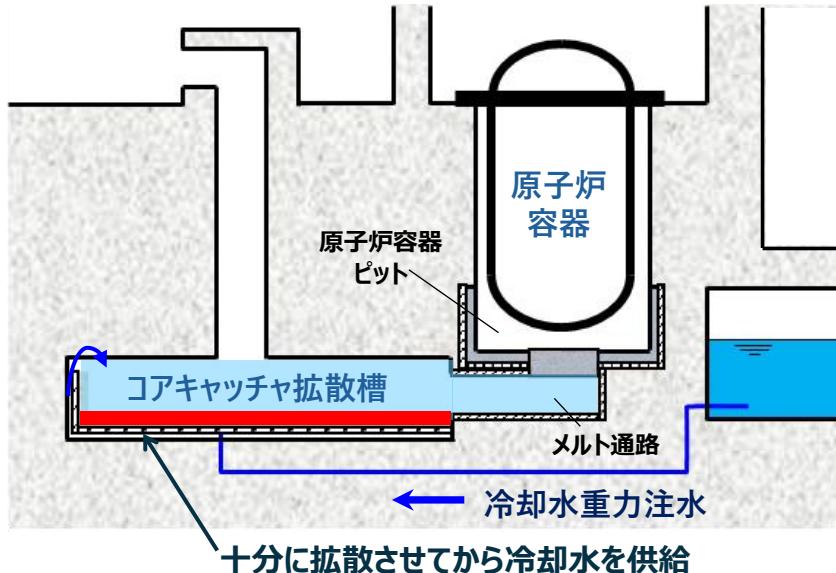
- 万一の炉心溶融時でも原子炉容器から落下する溶融炉心を下部にある専用ピットで受止め、専用の拡散槽内へ薄く拡げ、外部水源からの注水により溶融炉心を格納容器内で保持・冷却

溶融炉心対策

世界最新技術であるコアキヤッチャの採用



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（耐熱レンガ構造）を通じて拡散槽内に十分に拡散
- ④ 外部水源から拡散槽への注水により、溶融炉心を冷却

- 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、に加え、**ベースロード電源としての役割に加え、出力調整・系統安定化の役割にも対応**できるよう出力調整機能を強化

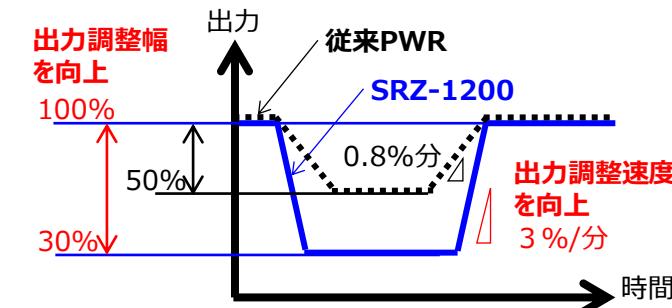
再生可能エネルギーとの共存（出力調整機能の強化）

- 現状、再エネの出力変動は主に火力で調整
- 将来、再エネの更なる拡大と火力の休廃止の増加（老朽化や脱炭素）に伴い調整力不足の懸念あり
- 再エネの日間出力変動（一日単位で出力変化）に対応する**負荷追従性能**、出力不安定性（秒～分単位の出力変化）に対応する**周波数制御機能を強化**

	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
将来	変動電源 (発電電力量増大)	調整電源 (発電電力量減少)	ベースロード + 調整電源 (発電電力量維持・増大)

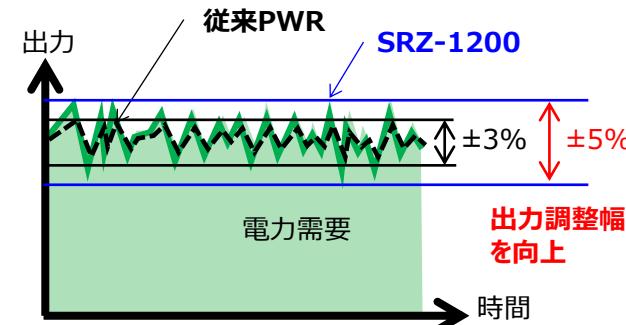
負荷追従性能

- 出力調整速度：**約4倍向上**※
- 出力調整幅：**約1.4倍向上**※



周波数制御性能

- 出力調整幅：**約1.5倍向上**※



- PWR4電力※¹と共同で、SRZ-1200標準プラント開発を進めており、**基本設計は概ね完了**
- 許認可向けデータ取得・拡充のための**実証試験を推進中**
→ 立地サイトが決定すれば個別プラント向けの設計、建設設計画に移行
- 規制予見性向上に向け、SRZ-1200を題材に革新軽水炉の設計等について、**ATENA※²と規制庁の実務者間で技術的な意見交換**を実施中（'25年11月までに6回の会合で議論）

※ 1：北海道電力、関西電力、四国電力、九州電力

※ 2：原子力エネルギー協議会

FY	'20	'25	'30
標準プラント 〔経産省事業〕	概念設計 → 基本設計	許認可向け プラント設備仕様検討	
実証試験 〔経産省事業〕	新技術に関わる設計の 妥当性確認試験	各種試験	
個別プラント		立地等の固有条件を考慮した個別プラント設計 「 基本設計 」→ 詳細設計 → 製作・建設	
規制対応		NRA協議 '24年12月～ NRA協議を開始	

標準プラント基本設計の取組み例（基本仕様）

- PWR電力4社と共同で立地（サイト）を特定しない標準プラントの基本設計として、許認可で必要となるプラント設備仕様を検討、概ね完了している段階

基本仕様の設定

項目	SRZ-1200	既設PWRの例
電気出力	～1210MWe	1180MWe
炉心熱出力	3411MWt	3411MWt
1次冷却材ループ数	3ループ	4ループ
燃料集合体	193体	193体

主要機器設計

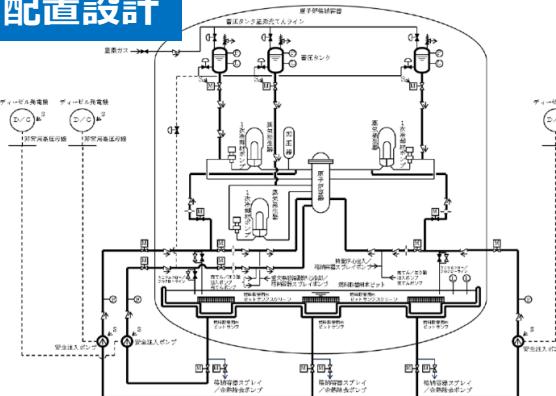


原子炉容器/
炉内構造物

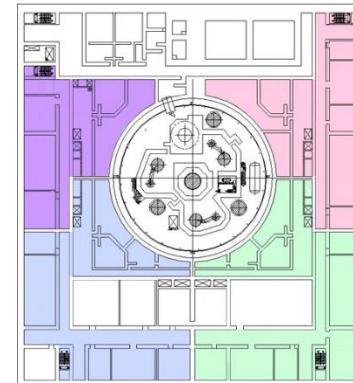
<1次系ループ>

蒸気発生器

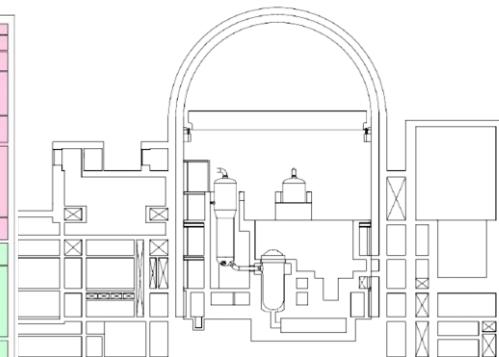
系統・配置設計



安全システム系統構成図（例）



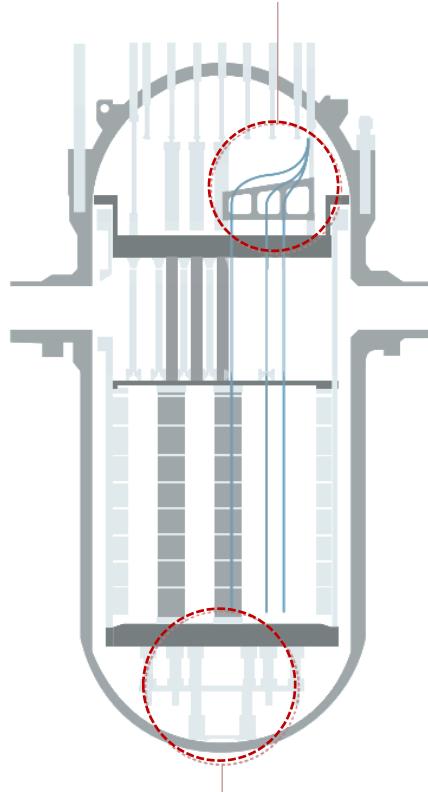
分離配置（平面）



原子炉建屋断面図

- SRZ-1200では、**上部挿入方式の炉内核計装**を採用により原子炉容器下部貫通部を削除、冷却材漏えいリスクを低減
- **原子炉容器下部プレナムの減容化**により、事故時の炉心冷却性能を向上

上部挿入ICIS(炉内核計装)方式



原子炉容器下部プレナムの減容化

上部挿入ICIS(炉内核計装)方式の採用

- 炉内中性子束検出器を原子炉容器下部から挿入する従来の設計から、原子炉容器上部から挿入する設計に変更
- 原子炉容器下部貫通部を無くすることで潜在的な1次冷却材漏えいリスクを低減し、プラントの安全性を向上

原子炉容器下部プレナムの減容化

- 原子炉容器下部鏡と下部炉心構造物の構造を最適化し、原子炉容器下部の冷却材容積を低減
- 万一の1次冷却材喪失事故時にも早期に炉心を冠水させることにより、燃料の温度上昇を抑制し、安全性を向上

- 許認可向けデータ取得・拡充に向け、新規構造を採用した原子炉の安全性や炉内構造物等の健全性の実証試験を推進中、下部プレナムを対象とした試験を完了

実証試験（炉内流動試験）の例

SRZ-1200向け炉内構造物

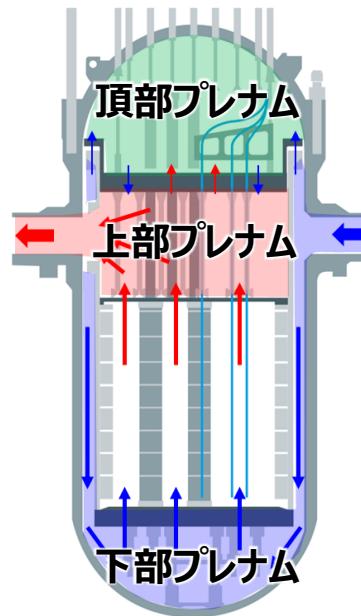
- ✓ 炉内流動試験にて、
許認可向け／設計検証用データを取得

〈測定データ〉

- 原子炉容器内の炉心入口流量分布/
温度分布、圧力損失係数等
- 炉内構造物の流体励振力や振動特性



- ✓ 解析を用いた設計の妥当性を確認



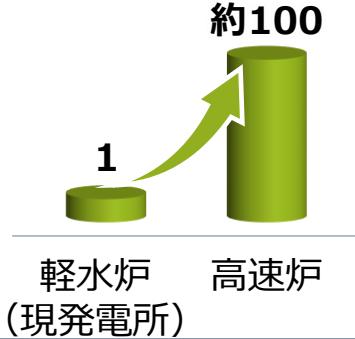
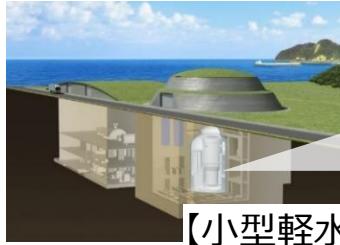
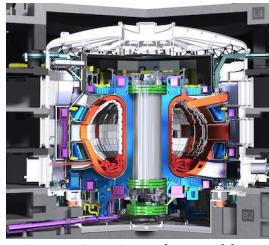
原子炉容器概念図



下部プレナム流動試験の供試体
(左図の青色領域が対象)

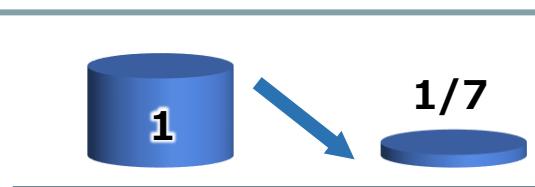
3. 将来に向けた多様な革新炉開発

- 革新軽水炉SRZ-1200に加え、更にその先の将来に向けて、社会ニーズや原子力エネルギー利用の多様化に対応する**高速炉、高温ガス炉、小型軽水炉、マイクロ炉といった様々な革新炉開発**、更には**核融合炉の実現に向けた取組み**を推進中

高速炉	国 の 実 証 炉 事 業 の 中 核 企 業 に 選 定	高温ガス炉	国 の 実 証 炉 事 業 の 中 核 企 業 に 選 定		
<p>✓ 資源の有効活用が可能（ウラン利用可能年数が従来の約100倍に延長）</p> 	<p>約100</p> 	<p>✓ 水素製造に活用可能（カーボンフリー熱源）</p>	<p>高温ガス炉</p> <p>水素製造装置</p> <p>高温ガス炉</p> <p>高温ヘリウムガスによる熱供給</p>		
<p>小型軽水炉・マイクロ炉</p> <p>✓ 小規模グリッド向け、離島・僻地・災害地用など多目的利用を可能とする小出力電源</p> 		<p>マイクロ炉</p> 	<p>核融合炉</p> <p>✓ 国際実験炉ITERへの機器供給や国内原型炉の概念検討にも参画</p> 		<p>主要機器の製造</p>
<p>© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved.</p>		<p>20</p>			

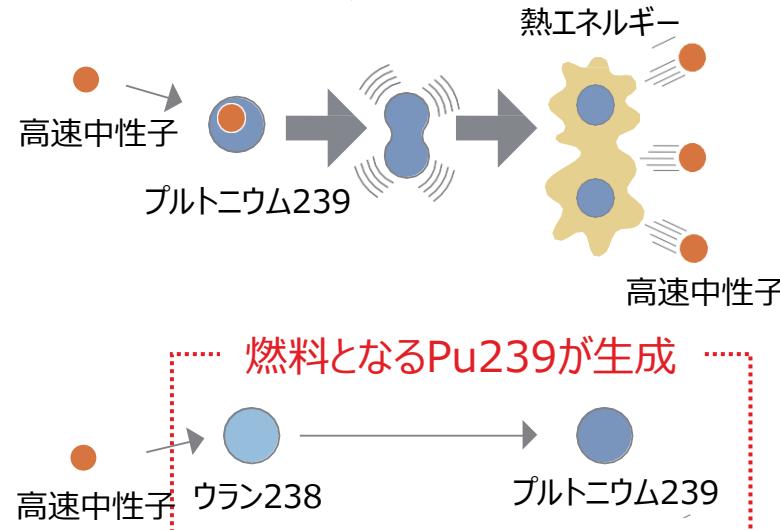
（1）高速炉：高速炉開発の意義

- 高速炉は、軽水炉では利用できない核種の核分裂が可能であり、燃料のリサイクル（ウラン資源の有効利用）により、**安定的なエネルギー確保（エネルギーセキュリティ強化）**に貢献
 - **高レベル放射性廃棄物の減容化や有害度低減といった環境負荷低減**の観点でも有効

<p>ウラン利用可能年数(年数比)</p>	 <p>1 約100</p> <p>軽水炉 高速炉</p>
<p>高レベル放射性廃棄物の減容(体積比)</p>	 <p>1 1/7</p> <p>使用済燃料を直接処分 高速炉</p>
<p>有害度低減^{※1}</p>	 <p>約10万年 約300年</p> <p>使用済燃料を直接処分 高速炉</p>

＜高速炉の原理（イメージ）＞

- 高速中性子がプルトニウム239に衝突し、核分裂する際に生じる熱エネルギーを発電に利用
 - 核分裂で発生する中性子（約3個）がウラン238に吸収され、新たに燃料となるプルトニウム239が生成



※1 天然ウランと同水準の放射能レベルまで低減する年数

図参考: 原子力・エネルギー図面集, (財) 日本原子力文化振興財団

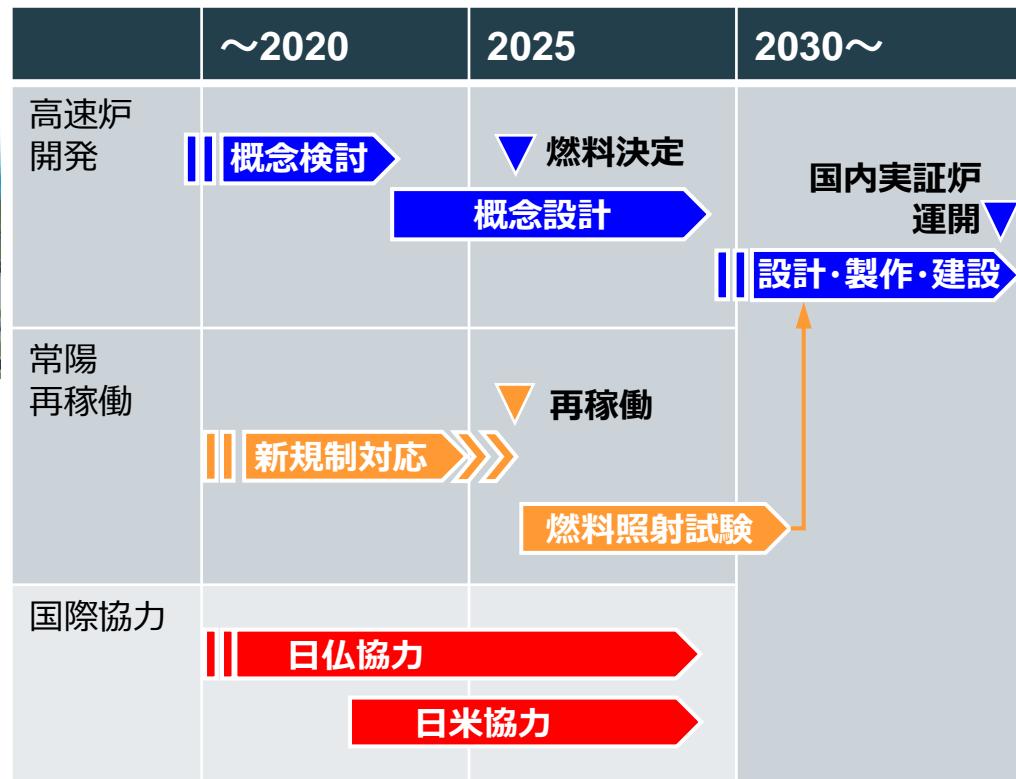
(1) 高速炉：取組状況

- 当社は、2040年代の運転開始を目指す実証炉開発を担う**中核企業に選定され、高速炉開発を主導**
- また、実証炉向け燃料開発や**医療用RI製造への活用が計画**される**高速実験炉「常陽」の再稼働に向けてJAEAを最大限支援**。併せて、国際協力にも積極的に取組む



実証炉仕様	
出力	600 MWe級
炉型	ナトリウム冷却タンク型炉 (日仏協力の知見反映)
燃料	MOX or 金属
炉心出口温度	550 °C

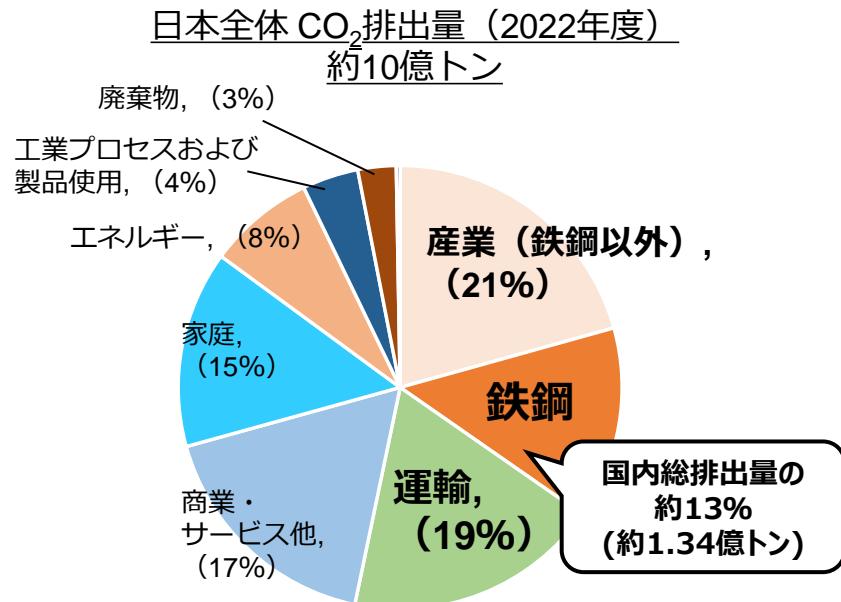
〈高速炉開発工程案〉



(2) 高温ガス炉：高温ガス炉開発の概要

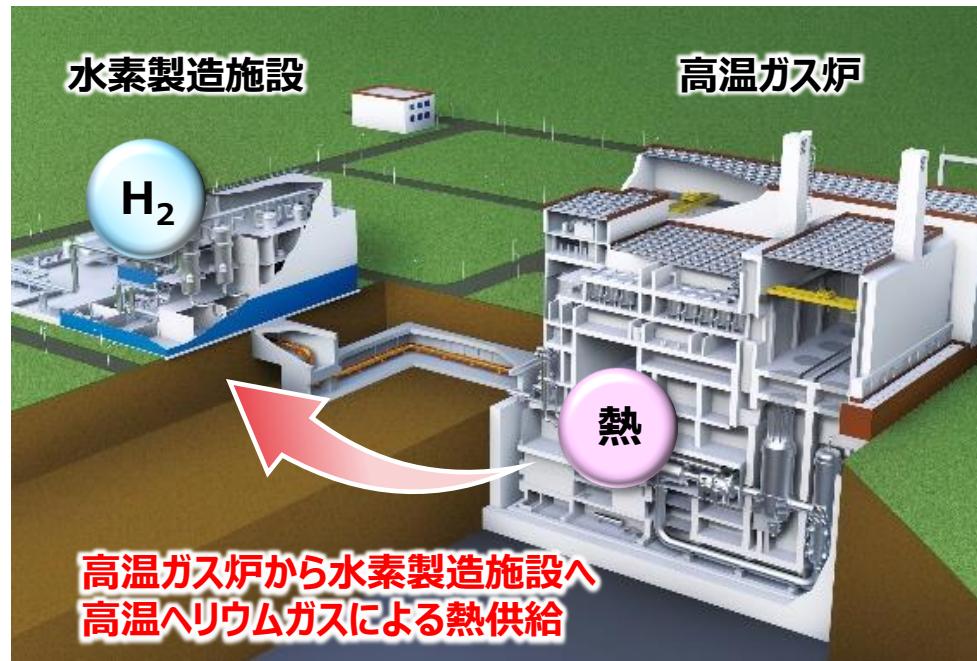
- カーボンニュートラル社会の実現に向け、電力分野だけではなく、**CO₂排出量が多い産業分野（製鉄、化学分野、その他製造業）、運輸分野の脱炭素化が不可欠**
- 特に、CO₂排出量が多い**鉄鋼業界**では、**水素還元製鉄**による**脱炭素化**の技術開発が進められ、その実現には**大規模かつ安定的な水素供給が必要**
- 高温ガス炉のカーボンフリー高温熱を用いた大規模かつ安定的な**水素製造**が期待されている

日本のCO₂部門別排出量



数值出典：環境省 <https://www.env.go.jp/content/000215754.pdf>

高温ガス炉の水素製造利用



(2) 高温ガス炉：取組状況

- **GX基本方針**において水素製造への貢献が期待される技術として**高温ガス炉の開発推進が明示**
- **高温ガス炉実証炉開発事業(2023年度～)**における中核企業に当社が**選定**され、実証炉の開発・設計を主導
- 並行して、**日本原子力研究開発機構(JAEA)**の**高温工学試験研究炉HTTR**における**水素製造技術実証**や**CO₂フリー水素製造技術**の研究開発を推進中

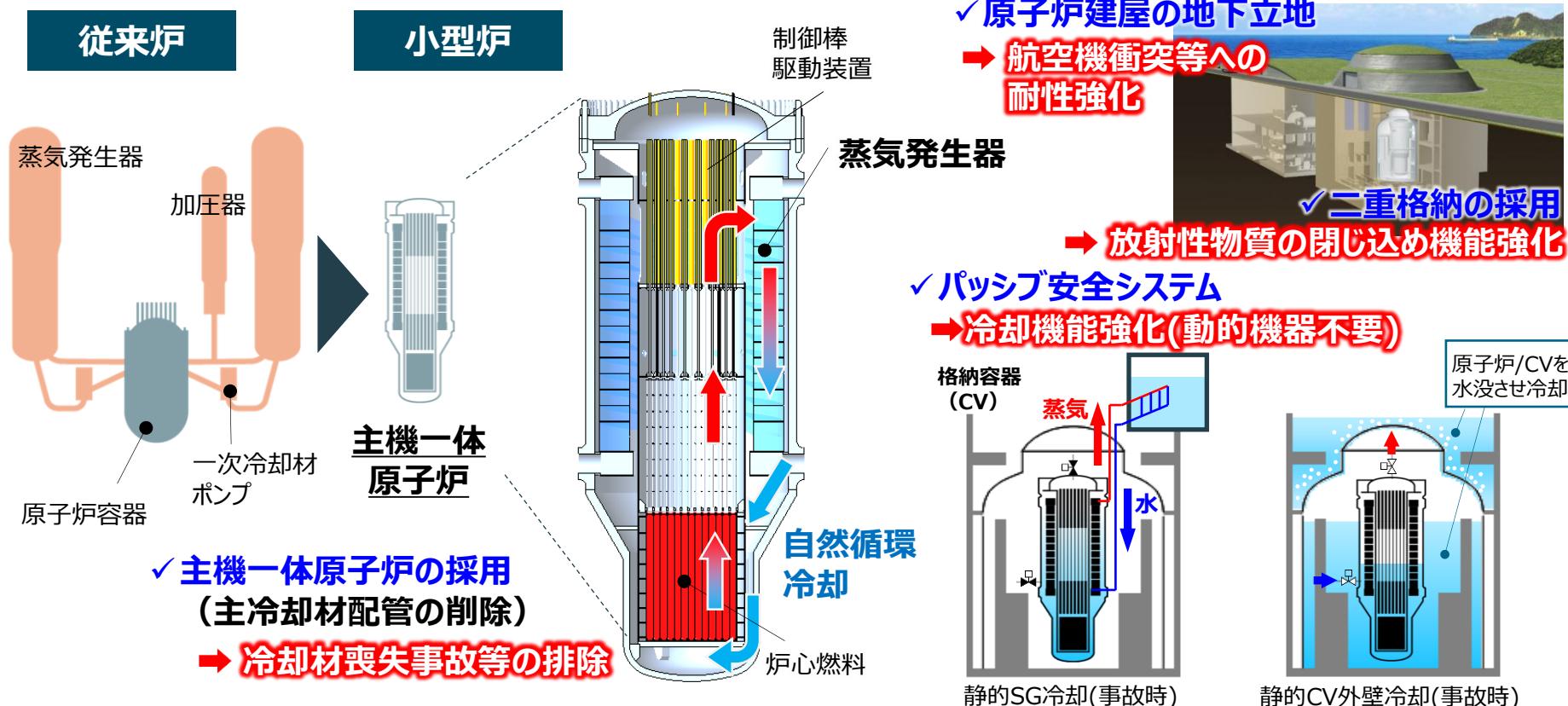
高温ガス炉 開発ロードマップ



技術例：SOEC

(3) 小型軽水炉開発の概要

- **自然循環冷却**によって冷却材ポンプを不要とし、原子炉容器内に蒸気発生器等を内蔵する**一体型原子炉**を採用して主冷却材配管を削除することにより、**冷却材喪失等の事故発生を原理的に排除**
- 事故時に動的機器を使用しない**パッシブ安全システム**の採用により、**安全性を向上**
- 原子炉建屋を**地下立地**とすることによる**航空機衝突等への耐性強化**や、**二重格納**の採用によって**放射性物質の閉じ込め機能を強化**し、**安全・安心を徹底追及**



(4) マイクロ炉開発の概要

- 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**（コンテナ内に**収納可能**）を開発中
- 燃料交換が不要で長期間の遠隔・自動運転、メンテナンスフリーを実現
- 高熱伝導体（黒鉛系材料）を用いた**全固体原子炉**（環境へのリーク、事故原因を排除）



三菱マイクロ炉のイメージ図

【マイクロ炉の主要仕様】

炉心サイズ	直径1m以下、長さ2m以下
冷却方式	1次系：高熱伝導材による熱伝導 2次系：CO ₂ ガス冷却
燃料	HALEU燃料※
熱出力/電気出力	1MWt~/0.3MWe~
継続運転可能期間	10年以上
設計寿命	25年

※ 濃縮度5wt%超～20wt%未満のウラン燃料



離島



僻地・極地

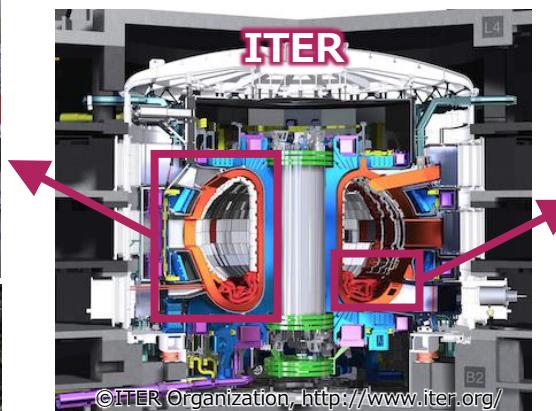


災害地

(5) 核融合炉開発の概要

- 国際実験炉ITER向け機器供給において、高品質・高精度（1/10000オーダの製作精度）が求められるトロイダル磁場（TF）コイルの製作を担当し、世界に先駆けて製造/出荷を完了
- 今般、TFコイルに続き、**ダイバータ**※の初号機を製作完了
- 引き続き、当社の**高度な製造技術を活かし、核融合炉開発に貢献**していく

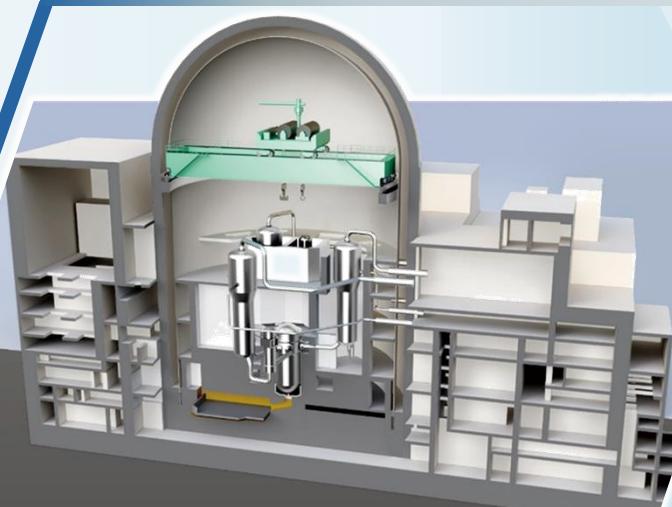
※ ダイバータは、高温プラズマからの高い熱負荷と粒子負荷を受け止め、炉心プラズマ中の不純物であるヘリウム灰（衝突過程でエネルギーを失ったヘリウムイオン）等を外部へ排気するための装置



三菱重工は、革新軽水炉SRZ-1200に加え、高速炉、高温ガス炉、小型軽水炉、マイクロ炉といった様々な革新炉開発、更には核融合炉の実現に向けた取組みなど将来に向けた技術開発を推進しています

未来に向けた原子力エネルギーの発展とそれを支える革新技術の実現に共に取組んでいきましょう

Light Water Reactors



革新軽水炉 SRZ-1200



小型軽水炉

Fusion Reactors



© ITER Organization
ITER
<http://www.ITER.org/>

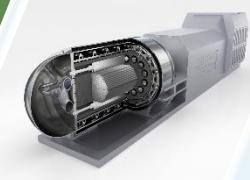
Advanced New Reactors



高速炉



高温ガス炉



マイクロ炉

MOVE THE WORLD FORWARD MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP

