

## テーマ3「新たな研究開発の動き」



### 三菱重工の革新軽水炉・将来炉に向けた取り組み

三菱重工業(株) 原子力セグメント 原子力技術部  
次長 西谷 順一

原子力は、カーボンフリーかつ大規模・安定電源として、エネルギーセキュリティや技術自給率の観点からも非常に重要なベースロード電源であると考えており、将来にわたって原子力の活用は必須であると考えている。今回の講演では、弊社がその認識の下、短期から中・長期に至るまでの開発計画を策定し、取り組みを進めている革新軽水炉・将来炉(小型軽水炉・高温ガス炉・高速炉・マイクロ炉)の開発状況につき紹介する。

## 三菱重工の革新軽水炉・将来炉に向けた取り組み

三菱重工業(株) 原子力セグメント 原子力技術部

西谷 順一

### 1. はじめに

世界的な気候変動問題への対応状況を踏まえ、日本では2020年10月に“2050年カーボンニュートラル”を目指すことが宣言されている。また、昨今では世界的にエネルギーセキュリティ上のリスクが顕在化し、国内でも電力需給がひっ迫するなど、電力安定供給の課題が浮き彫りになってきている。

脱炭素化とエネルギー安定供給の確保の両立が改めて重要な課題と位置付けられている中で、運転中にCO<sub>2</sub>を排出せず、天候にも左右されない大規模・安定電源であり、再生可能エネルギーを補完するための調整能力も有している原子力発電が、改めて注目されている。当社は、これまで培った原子力技術をベースに将来のカーボンニュートラル達成と安定供給の両立に貢献するため、短・中・長期的な視点から取り組みを推進している[1]。

### 2. カーボンニュートラル達成に向けた原子力ロードマップ

原子力は技術的に確立した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の観点からも重要なベースロード電源であるため、2050年のカーボンニュートラル達成に向けて原子力を持続的に活用することは必須である。一方、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と認識している。

当社は、国内唯一のPWRプラントメーカーとして、国内既設プラントの早期再稼働を目指して電力会社を支援し、これまで10基の原子力プラントの再稼働が実現している。引き続き、原子力プラントの再稼働や特重施設の早期竣工に向けて全面的に電力会社を支援し、電力の早期安定供給の実現と脱炭素化へ貢献することで国民の原子力に対する信頼回復に努めていく。また、原子力を長期に亘って持続的に活用していくためには、原子燃料サイクルの確立が必要であり、当社は原子燃料サイクルの早期確立に向けて主幹会社として全面的な支援を継続していく。

将来のカーボンニュートラル達成と電力安定供給に貢献するため、当社は2030年代半ばの実用化を目指し、これまで培った実績のある（プループンな）技術をベースに革新的な技術を導入することによって安全性を高め世界最高水準の安全性を実現する革新軽水炉“SRZ-1200”の開発を推進している。さらに、その先の多様化する社会ニーズに応じて、小型軽水炉、高温ガス炉、高速炉、マイクロ炉といった将来炉についても開発を進めていくとともに、2050年以降の長期的な視野に立って、恒久的な“夢のエネルギー源”である核融合炉の開発にも挑戦していく。

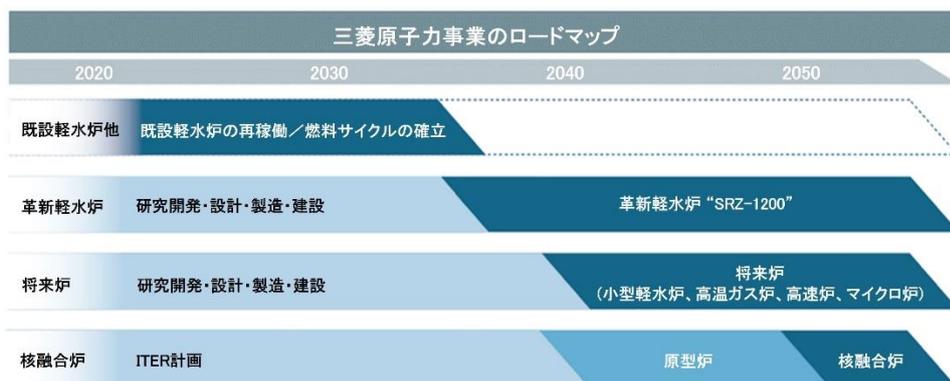


図1 カーボンニュートラル達成に向けた当社原子力事業の取組み

### 3. 既設プラントの再稼働支援/燃料サイクルの確立

2030年に温室効果ガス排出量46%削減の前提となっている原子力比率20～22%を達成するためには、多くの既設プラントの再稼働が必要である。当社は、震災後に制定された新規規制基準への適合を図るべく、国内既設プラントの安全対策工事について総力を挙げて電力会社を支援し、これまでにPWRプラント10基の再稼働が実現している。

さらに、再稼働を果たしたプラントについては、継続的な安全性向上に向けた評価や最新知見/技術を取り入れた保全対策を実施するとともに、運転期間60年の長期安定運転を見据えて、蒸気発生器や炉内構造物の取替え工事などの大型保全工事を計画的に実施することによって、原子力プラントの長期間にわたる安全・安定運転に貢献していく。

また、当社は原子燃料サイクルの確立に向け、日本原燃株式会社が青森県六ヶ所村に建設中の再処理工場、及びMOX燃料加工工場の早期竣工に向けて、主幹会社として各種対策工事等を推進している。

### 4. 革新軽水炉 “SRZ-1200”

当社は、プルーブンな技術をベースに高い経済性を確保するとともに革新的な技術や最新知見を取り入れて安全性を高めた120万kWe級の中型炉であるSRZ-1200\*1の開発を、PWRプラントを有する国内4電力\*2と共同で進めている。

SRZ-1200は、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた新規規制基準への適合を基本としつつ、設計段階から安全対策を講じることが可能な新設炉ならではの特徴を活かし、自然災害に対する耐性の強化や新たな安全メカニズム（パッシブ設備である高性能蓄圧タンクやコアキャッチャなど）の導入に加え、万一の重大事故時に放出される放射性物質の量を低減する放射性物質放出防止システムを採用することなどにより、世界最高水準の安全性を実現する（図2）。

- \*1 SRZ-1200 S: Supreme Safety (超安全), Sustainability (持続可能性)
- R: Resilient (しなやかで強靱な) 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)
- (1200は電気出力120万kW級を表現)

- \*2 北海道電力株式会社、関西電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社

## 革新軽水炉“SRZ-1200”

世界最高水準の安全性を実現するカーボンフリー大規模・安定電源

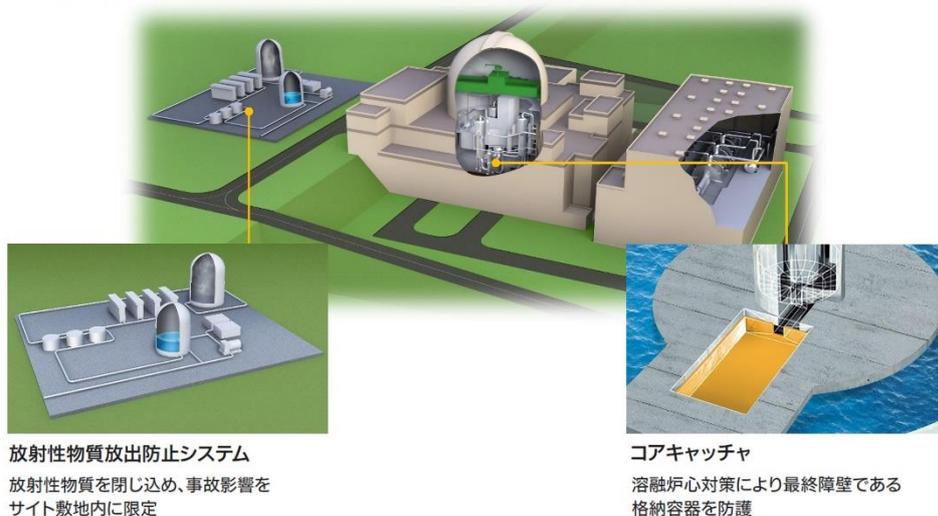


図2 革新軽水炉“SRZ-1200”

SRZ-1200 の主な特徴は次の通りである。

### (1) 地震・津波・その他自然災害への耐性強化

強固な岩盤に建屋を埋め込むことで揺れを抑え、厳しい地震条件での耐震設計を行うことや、津波影響を受けない高さへプラント設置を可能とすること、建屋の頑健化や火山灰侵入防止対策等を図ることにより、地震、津波、台風や火山等の外部事象に対して、高い耐性を実現している。

### (2) 安全機能の強化

国内の新規制基準に適合した新しい安全設計を採用し、多重性・多様性の強化等により、世界最高水準の安全性・信頼性を実現するとともに、電源を必要としないパッシブ設備と、電源駆動により安全機能を強力に発揮するアクティブ設備のベストミックスにより、確実かつ速やかな事故収束能力を実現している。

### (3) 溶融炉心対策

事故による万一の炉心溶融（シビアアクシデント）に備え、デブリを補足、冷却・保持する専用設備（コアキャッチャー）を設置し、格納容器の確実な防護を図っている。

### (4) 放射性物質放出防止

フィルターベントシステムに加えて、ベントガス中から放射性希ガスを除去する放射性物質放出防止システムを新たに導入、万一格納容器からのベント操作が必要な事態が生じても環境に放射性物質が放出されない機能を装備した。

### (5) セキュリティの強化（テロ対策）

鋼製格納容器と強化した外部遮蔽壁の二重格納構造の採用等により、大型航空機衝突（APC：Air Plane Crash）耐性を強化している。また、最新デジタル技術を活用してサイバー攻撃への耐性強化を実現する。

### (6) 再生可能エネルギーとの共存

再生可能エネルギーの拡大に伴う夜間・荒天時等の出力変動や電力系統不安定化等の課題に対して、出力調整（周波数制御、負荷追従）を行いながら運転を継続する機能を強化した。

## 5. 将来炉・核融合炉

### 5.1 小型軽水炉

当社は、将来の多様化するニーズに応えるため、カーボンフリーの分散電源として近年注目されている小型軽水炉について、電気出力約 30 万 kW<sub>e</sub> の新型プラントとして 2040 年頃の市場投入を目指して開発を行っている。

当社の小型軽水炉は、蒸気発生器等の主要機器を原子炉容器に内蔵する一体型原子炉構造の採用し、主要機器を接続する主冷却材配管を不要としている。また、原子炉内の冷却材の温度差を利用して一次冷却材を自然循環させることで、冷却材循環用のポンプを不要としている。これらにより、主冷却材配管破断に伴う冷却材喪失や、ポンプ故障等による事故発生を原理的に排除する。想定される事故への対処設備は、動的機器を使用しないパッシブ安全システムを積極的に採用し、運転員操作や外部電源/水源を不要としている。また、重要な建屋等を地下に埋設することで航空機衝突等の外部ハザードへの耐性を強化し、さらに万一の想定外の重大事故に対しても、二重格納構造により放射性物質の閉じ込め機能を強化しており、これら革新的なコンセプトを採用することで安全性・信頼性の飛躍的な向上を実現している（図 3）。

#### 小型軽水炉

将来の多様化するニーズに応える  
小規模グリッド向け電源



図 3 小型軽水炉

### 5.2 高温ガス炉

カーボンニュートラル達成に向けて、電力部門における脱炭素化に加えて、産業・民生・運輸（非電力）部門においても脱炭素化が不可欠である。鉄鋼、化学製品のような分野では水素を還元剤や原料として用いており、水素利用の技術開発が進められているものの、その実現には大規模かつ安定的な水素供給が必要となる。

高温ガス炉は、900℃以上の核熱利用を特徴としており、高温ガス炉によるカーボンフリー高温熱源を利用して大量かつ安定的な水素製造を行うことにより、鉄鋼業界をはじめとした産業分野の脱炭素化へ貢献できる。

高温ガス炉の特徴として、炉心・燃料の構成材に耐熱性の高い黒鉛やセラミック材料を、核熱を取り出す冷却材に化学的に安定なヘリウムガスを用いており、万一の事故時にも炉心溶融を起こさない“固有の安全性”を有している。

当社は、1970 年代から高温ガス炉開発に携わり、国内唯一の高温ガス炉である日本原子力研究開発機構（JAEA：Japan Atomic Energy Agency）の試験研究炉 HTTR（High Temperature engineering Test Reactor）の建設に主幹会社として参画している。これらの知見を活用して、2019 年度から経済産業省の NEXIP イニシアチブのもと、2040 年頃の実用化を目指して、炉心出力最大 600MW<sub>t</sub> の高温ガス炉による高温の熱源（950℃）を利用した年間数十万トン規

模の水素製造が可能なプラントシステムの開発を進めている（図4）。また、2022年4月から、JAEAと共同で高温ガス炉を活用した水素製造技術の実証事業を開始しており、HTTRに水素製造施設（水蒸気改質法）を新たに接続し、高温熱を活用した水素製造接続技術の実証を行う計画である。カーボンフリー水素製造技術については、産業技術総合研究所と共同で、高温ガス炉の超高温の核熱利用により効率的に水蒸気を電気分解して水素製造する高温水蒸気電解技術の開発にも着手している。

このように、当社は高温ガス炉を活用した大規模且つ安定的なカーボンフリー水素製造の実現を目指し、開発を継続していく（図4）。

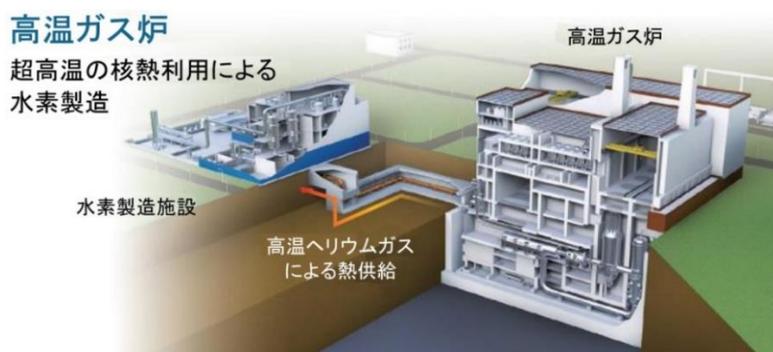


図4 高温ガス炉

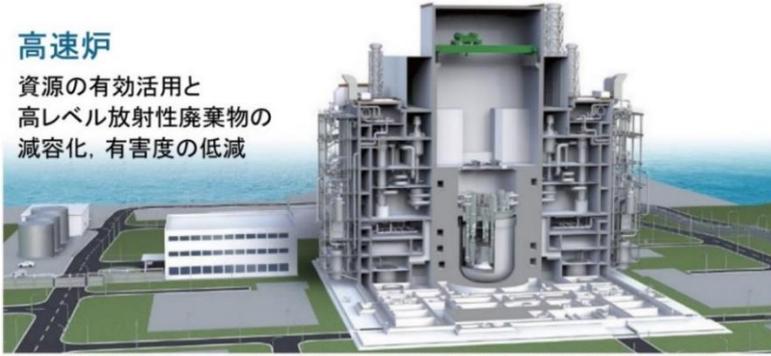
### 5.3 高速炉

高速炉は、減速材として水を用いず、高速中性子によるプルトニウムの核分裂反応を利用した原子炉である。燃料の増殖や原子力発電所の使用済み燃料の再処理後に回収される長半減期のマイナーアクチニド（MA：Minor Actinide）を燃焼することも可能であり、これらを再度燃料として装荷して半減期の短い放射性廃棄物に変換することができる。国は、これらの高速炉の特性を踏まえ、資源の有効利用や高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減の観点から、原子燃料サイクル政策として高速炉開発を推進していく方針を示している。

当社は、1970年代から実験炉“常陽”、原型炉“もんじゅ”の開発、建設等の国家プロジェクトに参画し、2007年に国の高速炉開発の中核企業に選定されて以降、最も実績があるMOX燃料ナトリウム冷却高速炉の開発を推進している。また、経済産業省のNEXIPイニシアチブにおいて、高速炉利用の多様性拡大に向けて、安全性・信頼性を高めた小型ナトリウム冷却高速炉の開発にも着手している（図5）。国が推進する国際協力においても、日本の高速炉開発の中核企業として、日仏国際協力によるタンク型炉の開発への参画のほか、2022年1月にはJAEAらとともに米国テラパワー社が開発するナトリウム冷却高速炉の実証炉開発への技術協力を合意している。21世紀半ばまでの早い段階で次期高速炉の運転開始を目指し、国際協力で得られる知見も活用して国内の厳しい地震条件などを考慮した日本独自のプラント概念を開発し、クリーンエネルギーの長期安定供給に貢献していく。

## 高速炉

資源の有効活用と  
高レベル放射性廃棄物の  
減容化, 有害度の低減



本図は、経済産業省からの受託事業である“高速炉の国際協力等に関する技術開発”の成果を含みます

図5 ナトリウム冷却高速炉

### 5.4 マイクロ炉

当社は、送電網が整備されていない離島や僻地、マイクログリッドでの電源利用などを目的とした、多用途モジュール式マイクロ炉の開発を行っている。マイクロ炉は、小型軽水炉よりも更に出力レベル・サイズが小さい炉であり、金属系材料に比べて密度が小さい黒鉛系材料を炉心構造物に適用して軽量化を図るとともに、小型化することで輸送用コンテナ内に原子炉系・発電系をすべて収納したポータブル原子炉である。さらに、燃料取換え作業が不要な長寿命炉心を実現するため、ウラン濃縮度 20%を上限とした HALEU (High-Assy, Low-Enriched Uranium) 燃料を採用している (図6)。

また、安全性の追求のため、原子炉冷却材に液体や気体を使用せず、高熱伝導体を用いた“全固体原子炉”の概念を採用し、冷却材喪失事故の要因を根本から排除し、環境に対する放射線影響を低減させることが可能となる。仮に事故が発生した場合でも、もともと出力が小さく、高熱伝導の黒鉛系材料採用しているため、空気自然冷却のみで安定的に崩壊熱除去が可能となる。

## マイクロ炉

多目的利用が可能な  
ポータブル電源  
(離島、被災地など向け)



図6 マイクロ炉

### 5.5 核融合炉

核融合エネルギーは、世界のエネルギー問題解決や地球温暖化対策に貢献できる潜在能力を有している。当社は、世界7極 (日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インド) の国際協力が進められている国際核融合実験炉“ITER”計画に参加し、2025年ファーストプラズマに向けて高度な詳細設計・製造技術を活かして主要機器の製作等を行っている。2020年1月には世界に先駆けて、世界最大規模の超伝導コイルであるトロイダル磁場コイルの初号機を完成させている (図7)。トロイダル磁場コイル以外では、プラズマ閉じ込めに欠くことがで

きない不純物を排出、除去するための機器であるダイバータの製作も開始している（図7）。また、ITER計画と並行して進められている核融合原型炉を早期に実現することを目指した国際活動“Broader Approach（幅広いアプローチ）”にも参画している。国内の原型炉開発は、国の原型炉研究開発ロードマップに沿って進められており、当社は、これまで培ってきた核融合装置設計、製造技術を活かし、原型炉向けプラズマ閉じ込め真空容器の概念検討や核融合超伝導トカマク型実験装置“JT-60SA”向けの高周波加熱装置用機器の製作にも取り組んでいる。

今後も世界の持続的発展のため、重要な技術開発に取り組む ITER 計画を積極的に支援するとともに、原型炉開発にも取り組み、核融合エネルギーの実現に向けて貢献していく。

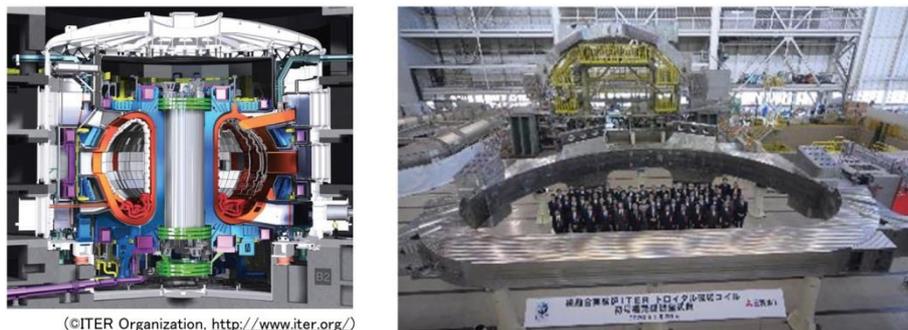


図7 ITER向けトロイダル磁場コイル初号機の完成披露式典

## 6. おわりに

当社は、軽水炉から燃料サイクル、廃止措置に至るまであらゆる分野を手掛ける原子力総合メーカーとして、50年以上の実績とたゆまぬ革新を続け、原子力プラントの安全・安定運転に貢献してきた。

原子力はカーボンフリーかつ大規模・安定電源であり、資源の少ない日本において、エネルギーセキュリティの観点からも重要な電源である。気候変動問題に対する意識がますます高まり、エネルギー安定供給が喫緊の課題となる中で、原子力は、将来の脱炭素化とエネルギー安定供給を両立する切り札であり、2050年カーボンニュートラルの達成に向けて、当社は引き続き原子力技術で貢献していく。

## 参考文献・資料

- [1] 神崎寛, 「カーボンニュートラル達成に向けた原子力事業の取組み」, 三菱重工技報 Vol. 59 No. 4 (2022) カーボンニュートラル特集.

## 講演者略歴



西谷 順一（にしたに じゅんいち）

所 属 三菱重工業株式会社 原子力セグメント 原子力技術部 次長

住 所 〒652-8585 兵庫県神戸市和田崎町 1-1-1

連 絡 先 TEL : 080-1379-6732、E-mail: junichi.nishitani.4p@nu.mhi.com